

Aus dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und
Technologie (Direktor : Prof. Dr. H. Marx) der Klinik
und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Experimentelle Untersuchungen der Härte und Haftfähig-
keit von Reparaturmaterialien für die Metallkeramik

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin der
Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, dem Fachbereich
Medizin vorgelegt von

Peter Houcken
aus Krefeld

Mainz

1979

Aus dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und
Technologie (Direktor : Prof. Dr. H. Marx) der Klinik
und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Experimentelle Untersuchungen der Härte und Haftfähig-
keit von Reparaturmaterialien für die Metallkeramik

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin der
Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, dem Fachbereich
Medizin vorgelegt von

Peter Houcken

aus Krefeld

Mainz

1979



Dekan : Prof. Dr. H. Leithoff

1. Gutachter : Prof. Dr. H. Marx

2. Gutachter : Prof. Dr. K. Fuhr

Tag der mündlichen Prüfung : 12.12.1979

Meinen Eltern

gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Fragestellung	1
1.1	Versuchsmaterialien	3
2.	Härteuntersuchungen	9
2.1	Kleinlast - Härtemeßmethode nach Müller	11
2.2	Härteuntersuchung von Keramik-Reparaturmaterialien	15
2.3	Herstellung der Prüfobjekte	16
2.4	Zeitpunkte der Härteuntersuchung	16
2.5	Meßvorgang	17
2.6	Ergebnisse	19
2.7	Diskussion der Härteuntersuchung	23
3.	Haftfähigkeitsuntersuchung	25
3.1	Haftfähigkeit der Keramik-Reparaturmaterialien gegen aufbrennbare Guß-Legierungen	27
3.1.1	Herstellung der Prüfobjekte	28
3.1.2	Zeitpunkte der Haftfähigkeitsuntersuchung	31
3.1.3	Meßvorgang	31
3.1.4	Ergebnisse	34
3.2	Haftfähigkeit der Keramik-Reparaturmaterialien gegen keramische Massen	42
3.2.1	Herstellung der Prüfobjekte	43
3.2.2	Zeitpunkte der Haftfähigkeitsuntersuchung	45
3.2.3	Meßvorgang	46
3.2.4	Ergebnisse	46
3.2.5	Diskussion der Haftfähigkeitsuntersuchungen	52
4.	Haftfähigkeit von Cyanoacrylatklebern zwischen aufbrennbaren Legierungen und keramischen Massen	58
4.1	Versuchsmaterialien	60
4.2	Herstellung der Prüfobjekte	61
4.3	Zeitpunkte der Haftfähigkeitsuntersuchung	63
4.4.	Meßvorgang	63
4.5.	Ergebnisse	64
4.6	Diskussion der Haftfähigkeit von Cayonoacrylatklebern	68
5.	Zusammenfassung	71
5.1	Literaturverzeichnis	73

1. Einleitung

In der Zahnheilkunde hat sich in den letzten 15 Jahren die Metallkeramik-Verblendtechnik immer mehr in den Vordergrund geschoben. Seit den Jahren 1962 und 1965 werden auch in Deutschland von den Firmen Vita/Degussa und De Trey/Heraeus metallkeramische Verblendsysteme angeboten (1).

Anfänglich wurde nur auf Edelmetall-Legierungen gebrannt, die zum größten Teil aus Au, Pt und Pd zusammengesetzt sind. Später -1968- kamen Nichtedelmetall-Legierungen, Ni-Cr-Legierungen, hinzu und in jüngster Zeit wird das Angebot durch Spargold-Legierungen aus Au und Pd noch erweitert.

EICHNER (2) gibt an, daß derzeit etwa 60 aufbrennfähige Legierungen im Handel sind, die sich in 22 Edelmetall-, 19 Nichtedelmetall- und 18 Spargold-Legierungen aufteilen.

Dieses reichhaltige Angebot zeugt von einem großen Interesse, das dieser Technik entgegengebracht wird. Die Metallkeramik stellt eine recht diffizile Technik dar, die sowohl vom Zahntechniker als auch vom Zahnarzt die nötigen Kenntnisse und viel Sorgfalt abverlangt. Gewissenhaftes und korrektes Arbeiten gewährleisten die Vorteile dieser Technik gegenüber der Kunststoffverblendtechnik.

EICHNER (1) hat diese kurz zusammengefaßt :

1. Ästhetik - Farbqualität und Transparenz
2. Funktionelle Anforderungen - Verbundfestigkeit
3. Mundbeständigkeit
4. Verhalten gegenüber der Gingiva
5. Temperaturleitfähigkeit

Trotz dieser Vorteile kann man nicht darüber hinwegsehen, daß es immer wieder zu Sprüngen in den keramischen Verblendungen von Kronen und Brücken sowie zum Abplatzen ganzer Keramikteile kommt.

Die Häufigkeit, mit der solche Schäden auftreten, wird von KERSCHBAUM (3) in einer Zusammenstellung mit 0,001% bis 2,2% angegeben. ALBERS (4) und KOLLER (5), die sich sehr viel mit Nichtelegmetall-Aufbrenn-Legierungen befaßten, berichten von einem Schadenssatz um 0,7% bzw. 1 - 2%. An anderer Stelle kommen KERSCHBAUM und VOSS (6) überein, daß bei breit gefächerter Anwendung mit einer Häufigkeitsquote von 3% gerechnet werden kann.

Die Ursachen für das Auftreten von Sprüngen und Absprengungen können vielseitiger Natur sein. Sie können erstens bei den Materialien, zweitens, wie WEBER (7) berichtet, bei deren Verarbeitung im Labor und drittens nach VOSS (8) bei den Maßnahmen des Zahnarztes am Patienten gesucht werden. Nach MARX (9) sind die unterschiedlichen Elastizitätsmodule der beiden Werkstoffe für die Mißerfolge dieser Technik ausschlaggebend.

Sicherlich gehört zu den schwerwiegenden Nachteilen der Metallkeramik die Tatsache, daß es bis heute noch keine adäquate Reparaturmöglichkeit gibt.

Es wäre von unschätzbarem Wert für diese Technik, wenn es ein Material gäbe, das sich im Munde des Patienten fugenlos mit genügend großer Härte und mit hoher Haftfähigkeit sowohl mit Metall als auch mit Keramik dauerhaft verbände. Temperaturschwankungen und Feuchtigkeit dürften seine Eigenschaften nicht beeinflussen.

Auf dem Dentalmarkt werden zur Zeit spezielle "Porzellan-Reparaturmaterialien" angeboten, mit denen die notwendigen Ausbesserungen von zerstörten Keramiken direkt im Munde des Patienten vorgenommen werden können.

Hierbei handelt es sich um Materialien auf Kunststoffbasis mit mehr oder weniger hohem Anteil an anorganischen Füllstoffen. Diese Massen werden zum Teil nach Vorbehandlung der schadhaften Stelle mit Primern bzw. Bonding agents aufgetragen und nach Aushärtung durch Beschleifen geformt.

Ferner geben BAKLAND (10), MAREN (11) und ALBERS (12) Empfehlungen, wie beschädigten Metallkeramikarbeiten im Munde wiederhergestellt werden können. Speziell MAREN, ALBERS und auch HOFMANN (13) verwenden zur Befestigung ihres Ersatzes Cyanoacrylatkleber, sogenannte Sekundenkleber. Näheres über diese zum Teil recht aufwendigen Reparaturmöglichkeiten wird in einem späteren Kapitel (siehe Seite 59, Abschnitt 4) berichtet.

Ziel dieser Arbeit ist es nun, sowohl die Härte als auch die Haftfähigkeit einiger Porzellan-Reparaturmaterialien an den drei Grundtypen der Aufbrenn-Legierungen (DIN 13 906) und an einer keramischen Masse unter Einfluß von Feuchtigkeit zu beobachten. Zudem soll das Haftfähigkeitsverhalten von speziellen Cyanoacrylatklebern bei Metall-Keramik im feuchten Milieu überprüft werden.

Versuchsmaterialien

Die Untersuchung der Härte und Haftfähigkeit umfaßt folgende derzeit auf dem deutschen Dental-Markt angebotenen Reparaturmaterialien :

1. Den-Mat der Firma Renfert, Singen (14)

Nach Angaben des Herstellers handelt es sich um ein weder aus Methacrylat noch aus Cyanoacrylat bestehendes Keramik-Reparaturmaterial. Es eignet sich auch bestens für Korrekturen an kunststoffverblendeten Kronen und Brücken.

Für die Reparatur wird auf folgende Besonderheiten hingewiesen. Der Rand der keramische Bruchstelle soll durch eine besondere Stufenpräparation vorbereitet werden. Die anschließende Reinigung des Defektes erfolgt mit einem im Set befindlichen "Priming agent" eine, wie angegeben, ungefährliche schwache Säure. Ein Haftvermittler, "Bonding agent", soll die Voraussetzung einer guten Haftung zwischen Keramik und Reparaturmate-

rial schaffen.

Besonders gute Reparaturergebnisse sollen erzielt werden, wenn noch ungefähr 60% der Haftfläche aus keramischer Masse besteht.

Blanke, dunkel durchschimmernde Metallflächen können mit einem "Metall-opaquer" abgedeckt werden.

Farblich kann das Flüssigkeit-Pulver-System durch 6 nach gängigen Vita-Farben eingefärbte "Porcelain-repair-powder" der Situation angepaßt werden. Nach dem Abbinden ist das Material mit Sandpapierscheiben und Diamanten auszuarbeiten. Silikonpolierer sollen für glatte und glänzende Oberfläche sorgen.

Handelsform :

Den-Mat Set Nr. 5882

Inhalt : Priming agent, Bonding agent, Resin-Flüssigkeit, Metall-Opaquer sowie Porcelain-repair-powder in 6 unterschiedlichen Farben mit Mischblock, Meßlöffel und Anmischspatel.

Bestandteile des Reparaturset's sind auch einzeln erhältlich.

2. Ceramat der Firma Renfert, Singen (15)

Dieses Reparaturmaterial ist das verbesserte Nachfolgeprodukt des vorher erwähnten Den-Mat und wird deshalb gegen die alphabetische Reihenfolge an zweiter Stelle aufgeführt.

In der Verarbeitung unterscheiden sich beide Präparate in keinem Punkt. Vorteile des neuen Produktes sind zwei zusätzliche Farben nach dem Vita-System sowie zwei Opaker in den Farbtönungen weißlich-grau und gelblich-weiß zur besseren Farbmarkierung. Ferner soll die Bonding agent Komponente, "Bond-Sol", nach Auskunft der Firma Renfert (16), chemisch derart verändert worden sein, daß hervorragende Haftresultate auf goldhaltigen Aufbrenn-Legierungen sowie auf Keramik erzielt werden können (16).

Außerdem entfallen bei dem neuen Produkt die unbequemen Lagerbedingungen. Ceramat ist lagerstabil, bedarf keiner Kühltankschlagerung und speziell Bonding agent und Resin-Flüssigkeit zersetzen sich nicht mehr in einem Zeitraum von 5 - 6 Jahren.

Handelsform :

Ceramat-Set Nr. 5872

Inhalt : Primer, Bond-Sol, 2 Fläschchen Resin-Flüssigkeit, 2 verschiedene Metall-Opaker, 8 Döschen mit unterschiedlich eingefärbtem Reparaturpulver sowie Meßlöffel, Mischblock, Anmisch- und Füllinstrumente.

3. Enamelite 500 der Firma Lee Pharmaceuticals, Frankfurt (17)

Enamelite 500 ist nach den Worten des Herstellers eine auf Pulver-Flüssigkeit aufgebaute neue Compositeformel mit verbesserter Farbtransparenz. Es dient zum Überziehen von Zahnschmelzdefekten sowie als Reparaturmaterial bei gesprungenen oder verlorenen Kunststoff- und Keramikverblendungen. Für die Verwendung als Reparaturmaterial werden vom Fabrikanten folgende Maßnahmen empfohlen. Nach Anrauen, Reinigung und Trocknen der zu behandelnde Oberfläche sollen blanke Metallflächen durch zweimaliges Auftragen eines Primers zur besseren Haftung an das Metall vorbereitet werden. Zur Maskierung von freien Metallflächen bietet Lee einen Opaker an. Die Farbauswahl kann aus fünf verschiedenen, die Farbe bestimmenden Anrührflüssigkeiten getroffen werden. Nach dem Aushärten soll sich das Material finieren und polieren lassen.

Handelsform :

Komplettpackung Enamelite 500

Inhalt : Etching agent zur Anätzung von Zahnschmelz,
Primer für Gold, Opaker, Pulver, zwei verschiedenfarbige Flüssigkeiten, Mischblock, Misch- und Applikationsinstrumente.

Alle Bestandteile dieser Packung können auch einzeln bestellt werden.

4. Facett-on der Firma Hager & Werken, Duisburg (18)
Facett-on dient nach Empfehlung des Hauses Hager & Werken zum Aufbau von Facetten, zur Reparatur frakturierter Porzellankronen und zur Wiederbefestigung abgefallener Facetten.

Dieser Flüssigkeit-Pulver-Kunststoff wird nach dem Säubern und Trocknen der Reparaturstelle ohne spezielle Vorbehandlung dieser aufgetragen. Freiliegende Metalloberflächen können mit einem Opaker abgedeckt werden. Zur Farbnuancierung dient ein sogenannter "Tinter", ein eingefärbtes Polymer, das beim Anrühren je nach Bedarf dem Universalpulver untergemischt wird. Die Bearbeitung soll mit Instrumenten, die für Kunststoff geeignet sind, durchgeführt werden.

Handelsform :

Facett-on Set

Inhalt : Universalpulver, Flüssigkeit, Opaker-Pulver, Tinter-Pulver, Mischblock und Einwegspatel.

5. Nu-Dent, Restorative Resin der Firma Detax, Karl Huber, Karlsruhe (19)
Restorative Resin wird laut Gebrauchsanweisung als ein Kunststoff-Reparaturmaterial zur Erneuerung, Ausbesserung und Farbkorrektur von Kronen- und Brückenarbeiten angeboten.

Es handelt sich um ein Flüssigkeits-Pulver-System. Nach Entfernung der beschädigten Verblendung werden die freien Metallpartien mit einem Opaker, zu dem gesonderte Anmischflüssigkeit gehört, überzogen. Anschließend kann der Kunststoff aufgetragen und nach Aushärtung mit feinen Steinen oder Diamanten in die gewünschte Form geschliffen werden. Farbabstufungen können aber nur mit flüssigen Kunststofffarben, z.B. Permanent Resin-Stain, getroffen werden.

Handelsform :

Restorative Resin Set

Inhalt : Flüssigkeit, Pulver, Opaker-Flüssigkeit,
Opaker-Pulver

6. Nimeticap der Firma Espe, Seefeld (20)

Espe-Applic-System "Nimeticap" ist ein neuentwickeltes Composite-Füllungsmaterial, das auf einer Weiterentwicklung der Bowen-Formel beruht. Dieses Kapselsystem, das im Gegensatz zu den übrigen Testmaterialien mechanisch angemischt wird, dient bei dieser Untersuchung lediglich dazu, einen Vergleichswert der Härte eines Composites an die Hand zu geben. In die Prüfungen der Haftfestigkeit wurde es nicht mit einbezogen.

7. Fusion der Firma Renfert, Singen* (21)

Fusion gehört weder zu den Kunststoff- noch zu den Keramikreparaturmaterialien. Auch handelt es sich hierbei nicht um einen Klebstoff, sondern um ein chemisches Bindemittel.

* Dieses Material wird erst seit kurzer Zeit von der Firma E. & H. Renfert, Singen, vertrieben, früher war Fusion ein Artikel der Firma Hager & Werken GmbH & Co. KG, Duisburg

Es soll Porzellan, Keramikteile, Edelmetalle und Stahl vorbereiten, um mit Kunststoff eine homogene Verbindung eingehen zu können. Aus diesem Grunde wird es auch nur in die Untersuchungen der Haftfestigkeit einbezogen. Zwei Komponenten werden im gleichen Verhältnis miteinander angemischt. Nach einer optimalen Reaktionszeit von 3 Stunden wird diese Lösung auf die zu reparierende Bruchstelle aufgetragen. Nach Trocknen des Haftvermittlers soll die Voraussetzung für eine bessere Verbindung zum Reparaturmaterial hergestellt sein.

Handelsform :

Fusion

Inhalt : Fusion-Komponenten A und B, Mix-Bottle

2. Härteuntersuchungen

Härte wird allgemein als die Eigenschaft eines Körpers definiert, dem Eindringen eines anderen, härteren Körpers einen gewissen Widerstand zu leisten. MARX (22) berichtet von anderen in der Literatur erwähnten genaueren Definitionen der Härte.

ASHBY (22) verstand unter Härte ein Maß des Widerstandes gegenüber ständiger Verformung und Beschädigung. AXELSSON und THERSSON (22) wiesen auf die Bedeutung der Elastizität der Stoffe bei ihrer Härtebestimmung hin und WEINGRABER (22) schließlich zeigte auf, daß die Härte auch von den dynamischen Momenten ihrer Bestimmungsmethode verändert werden kann.

So mannigfaltig die Definitionen der Härte sind, so mannigfaltig sind auch ihre Prüfungsmethoden. Alle Härtebestimmungen, sei es der Ritz-, Eindring- oder Pendelhärte, haben eine Gemeinsamkeit, stets dringt ein härterer Körper in den zu prüfenden weicheren ein.

Am häufigsten wird zur Messung der Härte der Eindruckversuch, Bestimmung der Eindruckshärte, benutzt (23). Die statischen Härteprüfungen nach Brinell (HB) DIN 50 351 und nach Vickers (HV) DIN 50 133, die aus der heutigen Werkstoffprüfung kaum wegzudenken sind, beruhen auf diesem Prinzip. Auch zur Härtebestimmung von Kunststoffen werden beide Verfahren, die sich lediglich durch die Form des Eindringkörpers unterscheiden, bevorzugt herangezogen. Jedoch sind diese Prüfungen, bedingt durch die Struktur und das Verhalten von Kunststoffen mit Problemen behaftet.

Die Schwierigkeit bei der Untersuchung von Kunststoffen liegt in der Frage, ob man die Härtemessung unter Last oder nach Entlasten durchführen soll.

Im ersten Fall würde man für die Ermittlung des Eindruckwiderstandes oder für die Eindruckverformung die elastische und bleibende, im letzteren nur die bleibende Verformung berücksichtigen (24). Bei der Härteprüfung von metallischen Werkstoffen nach den beiden oben erwähnten Verfahren wird der erzeugte Eindruck nach der Entlastung gemessen. Bei diesen Materialien kann der geringe Anteil der elastischen Stoffen, z.B. Weichgummi, würde man nach den genannten Verfahren nur eine geringe plastische Verformung erfassen und derartige Stoffe würden als sehr hart gekennzeichnet.

Kunststoffe stehen zwischen diesen beiden Stoffgruppen, und nach HOUWINK und STAVERMAN (23) müssen bei ihnen plastische und elastische Anteile bei der Härteprüfung durch Messung der Eindringtiefe unter Last erfaßt werden.

Zu beachten ist ferner, daß Kunststoffe unter Belastung stetig "fließen" oder "kriechen" und somit die Härteprüfung auch zeitabhängig machen. Während dieses Kriechvorganges kann keine Härtezahl bestimmt werden. In den meisten Fällen kommt der Eindringkörper nach einem Zeitraum von 30 - 60 s zur Ruhe und der Eindruckwert kann bestimmt werden (25).

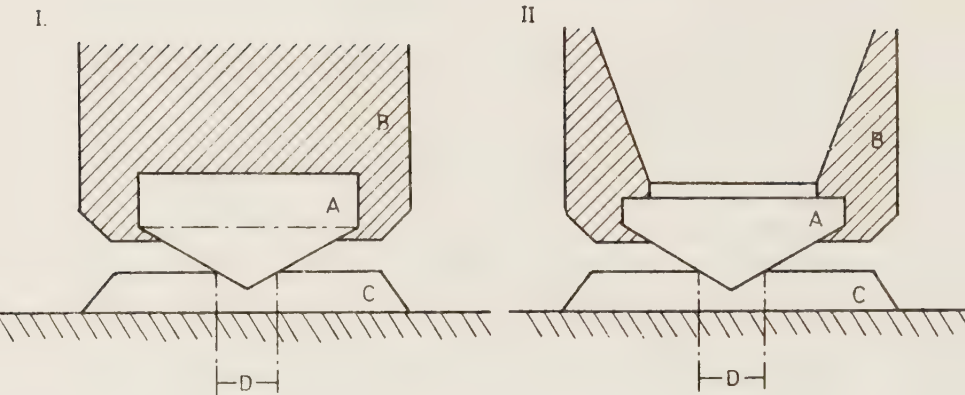
MÜLLER (26) hat mit seiner neuen Kleinlast-Härtemeßmethode, die auf der Basis des Vickers-Verfahrens entwickelt wurde, neue Wege der Härtemessung von Kunststoffen eröffnet. Dieses Meßverfahren berücksichtigt das oben erwähnte Deformationsverhalten von Kunststoffen und erfüllt gleichzeitig die fünf folgenden von MÜLLER (26) aufgestellten Forderungen :

1. Messung der Härte (Eindrücke) unter Last, wegen der vollständigen oder teilweisen Rückfederung von Kunststoffen.
2. Geometrische Ähnlichkeit der Härteeindrücke bei unterschiedlicher Belastung.
3. Kleine aber hinreichend genau meßbare Härteeindrücke um Messungen in Kleinbereichen realisieren zu können.
4. Niedrige Belastungen, um den Bereich relativ dünner Schichten erfassen zu können.
5. Keine oder möglichst geringe Abweichungen gegenüber bereits bestehenden (wenn möglich genormten) Verfahren, um hinsichtlich der Härte bzw. des Härtebegriffs sowie meßtechnischer Erfahrung und Übung auf kostensparende Weise einen lückenlosen Anschluß zu erreichen.

Zur praktischen Verwirklichung dieser Forderungen 1 - 5 dient das Härteprüfgerät "Optidur", mit dem die Härte direkt optisch gemessen werden kann.

.1 Die Kleinlast-Härtemethode nach Müller

Dieses Verfahren beruht auf den Prinzipien der Härteprüfung nach Vickers. Als Eindringkörper dient eine Vicker'sche oder Knoop'sche Diamantpyramide, die, jedoch im Gegensatz zu den alten Verfahren, eine optisch planpolierte Basisfläche aufweist (Abb. 1). Mit Hilfe eines Mikroskops ist es nun möglich, unter Last bei entsprechender Beleuchtung von der Basisfläche her durch den Diamanten die entstehenden Härteeindrücke auszumessen.



I.

II.

- A) Prüfdiamant
- B) Halterung
- C) Probe
- D) Durchmesser des Härteeindrucks

Abb. 1 Halterung der Eindringkörper MÜLLER (26)

I. Alte Fassung des Prüfdiamanten mit ungeschliffener Basisfläche. Ausmessung des Härteeindrucks nur nach Entlastung möglich.

II. Neue Fassung des Prüfdiamanten mit plangeschliffener Basisfläche und der Möglichkeit unter Last die Ausmessung des Härteeindrucks vorzunehmen.

Das für diese Methode geeignete optische Härteprüfgerät wurde ebenfalls von MÜLLER (26) entwickelt und von der Firma Göttfert* unter dem Namen "Optidur" hergestellt (Abb. 2).

* Firma Göttfert-Feinwerk-Technik GmbH, 6967 Buchen/Odenwald, Siemensstraße 2.



Abb. 2 Optidur, Firma Göttfert

Bei diesem Gerät sind Eindringkörper und Mikroskop voneinander getrennt, das heißt, der Diamant ist nicht in die Frontlinse des Mikroskopobjektivs eingebaut. Neben den verschiedenen Belastungsmöglichkeiten von 50 - 100 - 200 - 300 - 500 p sind Aufsetzgeschwindigkeit, im Mittel 80 $\mu\text{m/s}$, und Prüfzeiteinstellung regulierbar, die, wie oben erwähnt, bei der Kunststoffuntersuchung wesentlich ist (Abb. 3). Mit diesem Gerät können Eindruckdiagonalen von der Größe 50 - 500 μm und Eindrucktiefen von 7 - 70 μm gemessen werden. Die Ablesegenauigkeit liegt bei 1 μm ; 0,1 μm kann geschätzt werden.

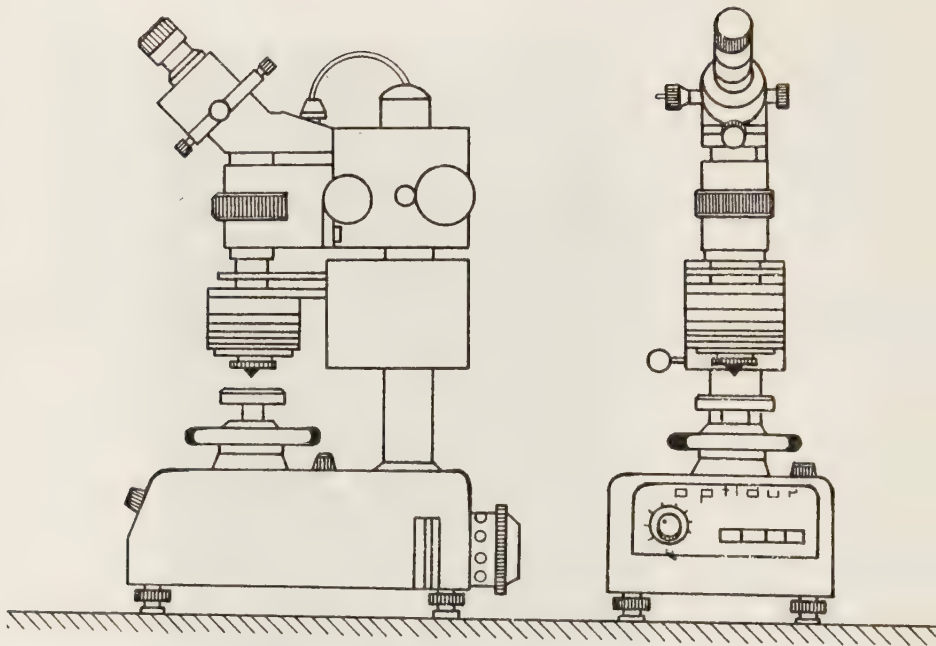


Abb. 3 Schematische Darstellung des Optidurgerätes nach der Betriebsanleitung der Firma Göttfert (27)

Dieses "Optidur" Härteprüfgerät, das nach dem neuentwickelten Mikrohärteprüfverfahren nach MÜLLER (26) entwickelt wurde, wird von MARX (28) für die Härteprüfung dentaler Kunststoffe empfohlen. Bereits REMEK (28) hat es mit Erfolg für Härteuntersuchungen von Kunststoffen für Kronen- und Brückenverblendungen angewandt.

2.2 Härteuntersuchung von Keramik-Reparaturmaterialien

In der vorliegenden Arbeit wird von der Härteprüfung der derzeit auf dem Dentalmarkt befindlichen Keramik-Reparaturmaterialien berichtet.

Zur Untersuchung gelangten neben den Präparate zur Wiederherstellung von Keramik, Den-Mat (Renfert, Ceramat (Renfert), Enamelite 500 (Lee), Facet-on (Hager & Werken) und dem Kunststoff-Reparaturmaterial Nu-Dent Resorative Resin (Huber) auch ein Composite-Füllungsmaterial Nimeticap (Espe) als Vergleichsmaterial.

Um die Prüfung unter mundähnlichen Bedingungen durchzuführen, und um einen eventuellen Einfluß der Feuchtigkeit auf die Härte der Präparate festzustellen, lagerten die Proben zwischen den Messungen in einem Wasserbad von 37°C. Bei der Lagerung von Kunststoffen im feuchten Milieu ist zu beachten, daß diese Feuchtigkeit aufnehmen und quellen.

Nach RITZE (29) liegt das absolute Maximum der Quellung im Unendlichen, das praktische Maximum jedoch ist nach 58 Tagen, bzw. 8 - 9 Wochen, erreicht und weist Werte von 1,5% - 1,9% Quellung auf. Bei der Auswertung der Ergebnisse sollen keine Absolutwerte der Härte diskutiert werden. Vielmehr interessiert der unterschiedlich lange Einfluß der Feuchtigkeit auf die Härte der einzelnen Präparate.

2.3. Herstellung der Prüfobjekte

Zur Prüfung der Härte wurden von jedem Material jeweils drei Proben hergestellt. Die Form der Prüfkörper war rechteckig und wies Kantenlängen von ungefähr 8 x 8 x 3 mm auf.

Bei der Dosierung, beim Anmischen und bei der Applikation der Kunststoffe war die genaue Beachtung der Gebrauchsanleitungen (13 - 18) erforderlich.

Voraussetzung für eine exakte Durchführung des Härteprüfverfahrens mit dem "Optidur"-Meßgerät ist eine plane, saubere und blasenfreie Oberfläche der Prüfobjekte.

Diese wurde durch die Verwendung von Glasplatten als Auf- und Unterlage bei der Herstellung der Körper erreicht.

2.4. Zeitpunkte der Härteuntersuchung

Die Härteuntersuchung erstreckte sich über einen Zeitraum von 12 Wochen, in dem die Prüfobjekte fünf Messungen unterzogen wurden.

1. Messung - nach 1 Stunde Trockenlagerung
2. Messung - nach 1 Tag Naßlagerung
3. Messung - nach 21 Tagen Naßlagerung
4. Messung - nach 42 Tagen Naßlagerung
5. Messung - nach 84 Tagen Naßlagerung

Die Proben wurden bis zur ersten Messung bei einer Zimmertemperatur von $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ gelagert. Zu den weiteren Untersuchungsterminen lagerten die Prüfkörper in Aqua-dest bei einer Temperatur von 37°C , das ein mundähnliches Milieu simulieren sollte.

2.5 Meßvorgang

Bei den einzelnen Prüfungsterminen (siehe Seite 16), wurden an jedem Prüfkörper vier Härteeindrücke ausgemessen. Nach KUNTZE (24) ist bei Platzierung des Eindringkörpers darauf zu achten, daß Kunststoffe unterschiedliche Härte im Rand- und Kernmaterial aufweisen. Diese Besonderheit des Werkstoffs wurde bei der Ausmessung der rechteckigen Prüflinge berücksichtigt. Der Prüfdiamant setzte zweimal an Randzonen und zweimal in der Nähe des Zentrums des Körpers zur Härtebestimmung auf (Abb. 4).

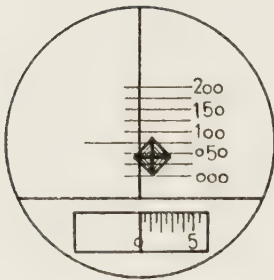


Abb. 4 · Anordnung der Härteeindrücke

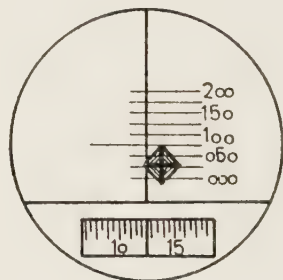
Um nicht zu große Härteeindrücke ausmessen zu müssen, wurden nach einigen Versuchen für die verschiedenen Präparate unterschiedliche Belastungsgewichte ausgewählt. Die Keramik-Reparaturmaterialien Den-Mat, Enamelite 500, Ceramat und das Vergleichsmaterial, das Composite Nimeticap, hatten 300 p, die beiden übrigen, Facett-on und Nu-Dent Restorative Resin 100 p Belastung bei der Härtebestimmung.

Um dem Verhalten der Kunststoffe (25) gerecht zu werden, wurde auch eine längere Eindringzeit von 25 Sekunden gewählt.

Das direkte Ausmessen des Härteeindrucks erfolgt durch das Mikroskop und durch den Eindringkörper des Optidur-Prüfgerätes. Mit Hilfe der Skaleneinteilung im Feinmeßokular, der in 1/1000 mm abzulesen ist, wurden die beiden Diagonalen des quadratischen Härteeindrucks bestimmt (Abb. 5).



1.



2.

Abb. 5 Meßskala des Optidurgerätes

1. Einstellung der unteren Spitze der Eindruckstelle auf die Nulllinie.
2. Einstellung der oberen Spitze der Eindruckstelle auf die nächstuntere Skalenlinie. Die Differenz ist in der unteren Mikroskala abzulesen und zu dem ermittelten Wert aus der oberen Skala zu addieren (27).

Aus dem Mittelwert der beiden abgelesenen Diagonallängen und dem zugeschalteten Prüfgewicht kann man die Härte an Hand einer Tabelle bestimmen oder nach der folgenden Formel ableiten (27).

$$HV = \frac{1854 \times P}{d^2} \times 9,81$$

HV = Vickershärte in N/mm^2

P = Prüfkraft in Pond

d = Länge der Eindruckdiagonalen in 1/1000 mm

1854= Umrechnungskonstante

2.6 Ergebnisse

Von jedem der fünf Reparaturmaterialien und dem Vergleichspräparat wurden drei Prüfkörper hergestellt.

An jedem Prüfobjekt wurden bei den Untersuchungsterminen zwischen der Wasserlagerung jeweils vier Härteeindrücke ausgemessen. Damit standen zwölf Härtewerte jedes Fabrikates zur Verfügung, deren Mittelwert die resultierende Werkstoffhärte für den jeweiligen Prüfungstermin ergab.

Bei der Mittelwertbestimmung wurden die eventuellen Unterschiede zwischen den einzelnen Prüfobjekten innerhalb eines Kunststoffes nicht berücksichtigt.

Ebenfalls fand das Problem der Kunststoffquellung (siehe Seite 15) bei der Auswertung keine Beachtung, lediglich wurden die Härtewerte, die nach der 12-wöchigen Wasserlagerung gemessen wurden, zur Härtevergleichsdiskussion herangezogen.

Neben der Mittelwertbestimmung wurden die Standardabweichung (s_x) und der Variationskoeffizient (VK) nach statistischen Regeln ermittelt (30).

Hierzu dienen folgende Formeln :

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

s_x = Standardabweichung

x_i = Einzelwert der Härte

$\bar{x}$ = Mittelwert der Härte

n = Anzahl der Messungen

$$VK = \frac{s_x}{\bar{x}} \times 100$$

VK = Variationskoeffizient

s_x = Standardabweichung

$\bar{x}$ = Mittelwert der Härte

Tab. 1 Härteuntersuchung

Den-Mat (Renfert) HV 0,3/25 s

	$\bar{x} (N/mm^2)$	s_x	$VK(\%)$	Min	Max	n
nach 1 Stunde	390,7	17,1	4,3	348,2	413,9	12
nach 1 Tag	447,8	25,5	5,6	408,0	488,5	12
nach 21 Tagen	439,5	26,7	6,0	389,4	478,7	12
nach 42 Tagen	401,9	22,4	5,5	352,1	435,5	12
nach 84 Tagen	388,3	25,3	6,5	360,0	439,4	12

Tab. 2 Härteuntersuchung

Ceramat (Renfert) HV 0,3/25 s

	$\bar{x} (N/mm^2)$	s_x	$VK(\%)$	Min	Max	n
nach 1 Stunde	267,9	23,7	8,8	234,4	309,0	12
nach 1 Tag	299,8	22,7	7,5	276,6	348,2	12
nach 21 Tagen	295,7	25,5	8,6	259,9	347,2	12
nach 42 Tagen	296,0	21,7	7,3	267,8	328,6	12
nach 84 Tagen	273,2	21,2	7,7	242,3	304,1	12

Tab. 3 Härteuntersuchung

Enamelite 500 (Lee) HV 0,3/25 s

	$\bar{x} (N/mm^2)$	s_x	$VK(\%)$	Min	Max	n
nach 1 Stunde	326,7	31,1	9,5	292,3	384,5	12
nach 1 Tag	419,3	25,2	6,0	395,3	471,8	12
nach 21 Tagen	401,1	23,3	5,8	380,6	438,5	12
nach 42 Tagen	389,4	27,7	7,1	356,1	433,6	12
nach 84 Tagen	384,3	21,7	5,6	362,9	421,8	12

Tab. 4 Härteuntersuchung

Facet-on (Hager & Werken) HV 0,1/25 s

	$\bar{X} (N/mm^2)$	s_x	VK(%)	Min	Max	n
nach 1 Stunde	80,3	7,7	9,5	69,6	92,2	12
nach 1 Tag	98,8	5,1	5,1	91,2	107,2	12
nach 21 Tagen	108,8	2,6	2,3	103,9	113,7	12
nach 42 Tagen	107,1	2,6	2,4	104,9	113,7	12
nach 84 Tagen	107,3	2,1	1,9	103,9	111,8	12

Tab. 5 Härteuntersuchung

Nu-Dent Restorative Resin (Huber) HV 0,1/25 s

	$\bar{X} (N/mm^2)$	s_x	VK(%)	Min	Max	n
nach 1 Stunde	94,2	5,5	5,8	87,3	103,0	12
nach 1 Tag	97,3	3,4	3,4	92,2	103,0	12
nach 21 Tagen	106,3	1,8	1,6	103,9	109,8	12
nach 42 Tagen	103,3	0,8	0,7	102,0	104,9	12
nach 84 Tagen	105,7	1,1	1,0	103,9	107,9	12

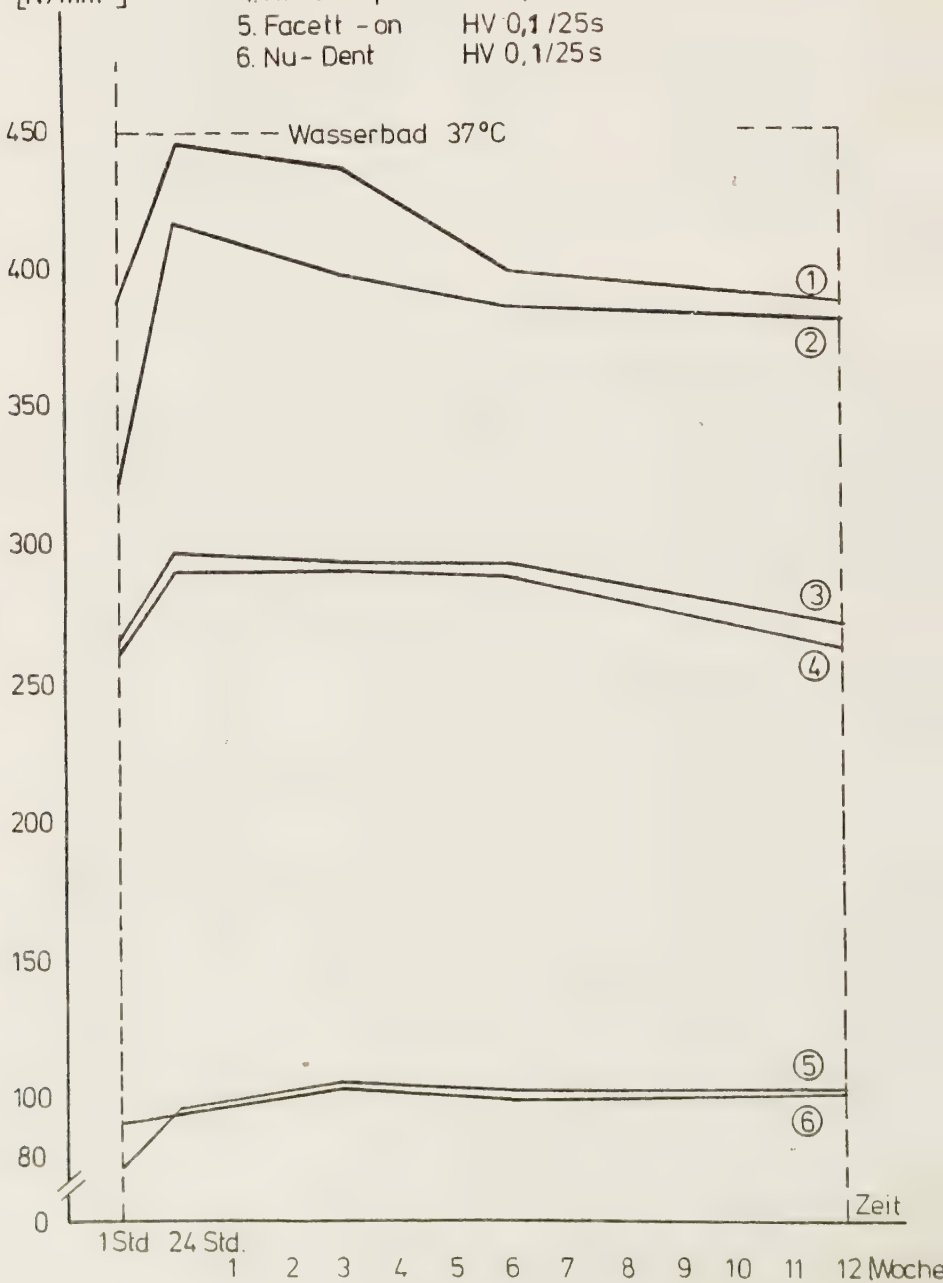
Tab. 6 Härteuntersuchung

Nimeticap (Espe) HV 0,3/25 s

	$\bar{X} (N/mm^2)$	s_x	VK(%)	Min	Max	n
nach 1 Stunde	267,8	43,3	16,1	230,5	330,5	12
nach 1 Tag	297,5	44,8	15,0	256,0	364,9	12
nach 21 Tagen	298,4	46,6	15,6	253,0	378,6	12
nach 42 Tagen	295,4	44,7	15,1	242,3	375,7	12
nach 84 Tagen	268,1	39,0	14,5	228,5	336,4	12

DIAGRAMM 1: VICKERS - HÄRTEPRÜFUNG

- | | |
|------------------|------------|
| 1. Den-Mat | HV 0,3/25s |
| 2. Enamelite 500 | HV 0,3/25s |
| 3. Ceramat | HV 0,3/25s |
| 4. Nimeticap | HV 0,3/25s |
| 5. Facett-on | HV 0,1/25s |
| 6. Nu-Dent | HV 0,1/25s |

Härte
[N/mm²]

2.7 Diskussion der Härteuntersuchungsergebnisse

Die untersuchten sechs Präparate können ihrer Härtewerte nach in drei Kategorien eingeteilt werden.

- I. Härtewerte um 400 N/mm^2
 Den-Mat (Renfert), Enamelite 500 (Lee-
 Pharmaceuticals)
- II. Härtewerte zwischen $250 - 300 \text{ N/mm}^2$
 Ceramit (Renfert), Nimeticap (Espe)
- III. Härtewerte um 100 N/mm^2
 Facett-on (Hager & Werken), Nu-Dent Restorative
 Resin (Huber)

Die Materialien der einzelnen Kategorien haben erstaunlicherweise im Diagramm 1 fast den gleichen Kurvenverlauf. Einheitlich ist jedoch bei allen zu untersuchenden Fabrikaten eine Härtesteigerung nach Ablauf der ersten 24 Stunden nach dem Anmischen zu verzeichnen. Der weitere Kurvenverlauf ist dann gruppenabhängig.

Während die Präparate der ersten Kategorie Den-Mat, Enamelite 500 schon nach 21 Tagen einen Abfall ihrer Härte aufweisen, der sich nach 42 und 84 Tagen stetig fortsetzt, bleiben die Werte der zweiten Gruppe Ceramit und Nimeticap konstant und fallen erst nach 42 Tagen leicht ab. Die letzte Kategorie mit Facett-on und Nu-Dent Restorative Resin steigert sogar ihre Härte geringfügig in den ersten 21 Tagen, um dann diese Werte über den Meßzeitraum von 84 Tagen zu halten.

Der Härteabfall von Kunststoffen nach einer längeren Naßlagerung wurde bereits in Untersuchungen von MARX (22) und RITZE (29) beschrieben, so daß mit diesem Ergebnis das Verhalten von Kunststoffen bestätigt wird. Zurückgeführt wird die Verminderung der Härte auf die Quellung des Materials im feuchten Milieu.

Nach RITZE (29) wird - wie schon in Abschnitt 2.2 erwähnt - das praktische Maximum der Quellung nach 58 Tagen erreicht, so daß zur vergleichende Betrachtung der einzelnen Präparate nur die Endwerte dieser Untersuchungsserie herangezogen werden.

An der Spitze der Härteskala der untersuchten Materialien stehen Den-Mat mit $388,3 \text{ N/mm}^2$ und Enamelite 500 mit $384,3 \text{ N/mm}^2$. Ceramat, das Nachfolgeprodukt des Den-Mats, liegt mit dem Vergleichsmaterial für diese Serie, dem Composite Nimeticap, schon beachtlich mit $273,2 \text{ N/mm}^2$ und $268,1 \text{ N/mm}^2$ hinter den beiden erstaufgeführten Materialien. Als letzte, aber damit mit dem geringsten Härteabfall behaftet, verbleiben noch Facett-on mit $107,3 \text{ N/mm}^2$ und Restorative Resin Nu-Dent mit $105,7 \text{ N/mm}^2$.

Der Variationskoeffizient dieser Messungen liegt weit unter 10%.

Abschließend ist festzustellen, daß Den-Mat und Enamelite 500 eine wesentlich größere Härte aufweisen als das herkömmliche Composite Nimeticap.

Ceramat liegt auf dem gleichen Härteniveau wie das Vergleichsmaterial, während Facett-on und Nu-Dent Restorative Resin doch beträchtlich weicher sind und für die Verwendung in der Mundhöhle unter Belastung nicht geeignet erscheinen.

3. Haftfähigkeitsuntersuchung

Eine Definition des Begriffs der Haftung ist in einem Referat von SCHWICKERATH (31) zu lesen.

"Werden zwei Materialien, wovon eines sich zunächst in flüssigem oder teigartigem Zustand befindet, miteinander in Berührung gebracht, so haften sie im allgemeinen nach der Erstarrung aneinander. Die Größe der Haftung kann durch den Wert der Beanspruchung ausgedrückt werden, der die Verbindungsstelle ausgesetzt werden kann".

Auf dem Gebiet der Werkstoffprüfung ist die Messung der Verbundfestigkeit, der Haftfähigkeit, zwischen zwei unterschiedlichen Werkstoffen noch nicht eindeutig festgelegt.

Grobe Prüfungen, bei denen zwei verbundene Werkproben mit einem Hammer auseinander geschlagen werden, vermitteln nur Anhaltspunkte für die Beurteilung der Haftfähigkeit.

In der Fachliteratur sind andere genauere Prüfmethoden beschrieben. Speziell für die Bestimmung des Verbundes zwischen Metall und Keramik haben SHELL und NIELSEN (32) einen metallischen Rundstab mit Grund- und Dentinmasse umbrannt und haben diesen auf Zug beansprucht.

Bei der Methode nach NALLY und BERTA (32) werden die Stirnflächen zweier Rundstäbe zusammengebrannt und ebenfalls auf Zug beansprucht. Eine andere Form von Prüfkörpern wählte WAGNER (32). Seine Metallplättchen werden mit keramischen Massen verkleidet und einer Biegebelastung unterworfen.

Schraubenförmige Prüfkörper aus aufbrennbaren Legierungen, die in der Prüfapparatur fest verankert werden konnten, konstruierten RITZE und GAYCKEN (33).

Jeweils zwei dieser Prüfbjekte wurden Kopf an Kopf mit keramischen Massen zusammengebrannt und einer Zerreißprüfung ausgesetzt.

Ein neues Prüfverfahren, das sich nicht nur mit den Werkstoffen, sondern auch mit der Formgestaltung von metallkeramischen Kronen und der Belastungseinrichtung befaßt, wurde von VOSS (8) veröffentlicht.

SILVER, KLEIN und HOWARD (32) brannten bei ihren Untersuchungen würfelartigen Metallstäben Grund- und Dentinmassen auf, spannten diese Prüfkörper in eine Haltevorrichtung ein und belasteten den Verbundbereich bis zum Bruch.

Diese Aufreihung der verschiedenen Bestimmungsmethoden der Haftfähigkeit zeigt deutlich, daß Schlag-, Zug- bzw. Zerreiß- und Biegeprüfungen bevorzugt wurden. Hierbei erhält man jedoch nur Anhaltswerte über die Zug- oder Bruchfestigkeit des keramischen Verblendmaterials.

SCHMITZ und SCHULMEYER (32) haben daher ein Prüfverfahren, einen Schertest, entwickelt, das auf dem Prinzip von SILVER, KLEIN und HOWARD beruht. Gegossenen Metallwürfeln werden keramische Massen aufgebrannt und dieser Verbundkörper wird einer Scherbeanspruchung unterworfen. Diese Untersuchungsmethode weist nach Meinung der Zahnfabrik Wienand, Dreieich (32), Vorteile in der Reproduzierbarkeit sowie in einer geringen Streuung der Prüfergebnisse auf.

Alle Präparate dieser Haftfähigkeitsuntersuchung gehören in die Gruppe der Kunststoffe. Die Verwendung von Kunststoffen als Verblendmaterial von Metallgerüsten, also die Kombination Metall/Kunststoff, in der Mundhöhle ist häufig mit Mißerfolgen behaftet.

Ursache dieser Mißerfolge ist nach JANKE (34) eine Spaltbildung an der Grenzfläche der beiden Materialien, bedingt durch den Volumenverlust des Kunststoffes bei der Polymerisation. SCHWICKERATH (35) sucht die Gründe in den verschiedenen thermischen Ausdehnungskoeffizienten und ebenfalls in der Polymerisationsschrumpfung.

Neben diesen genannten Eigenarten des Kunststoffes spielt aber nach Untersuchungen von SCHWICKERATH (31, 35, 36, 37, 38) der Einfluß von Feuchtigkeit und ein ständiger Temperaturwechsel zwischen 3° - 50°C eine entscheidende Rolle für die verminderte Haftfähigkeit von Metall/Kunststoff-Systemen.

Zudem darf auch in diesem Zusammenhang die von RITZE (29) beschriebene Quellung von Kunststoffen nicht außer acht gelassen werden.

3.1 Haftfähigkeit der Keramik-Reparaturmaterialien gegen aufbrennbare Guß-Legierungen

Im zweiten Kapitel dieser Untersuchungsreihe wird, wie eingangs erwähnt, die Frage der Haftfähigkeit der Reparaturmaterialien Den-Mat (Renfert), Ceramat (Renfert), Enamelite 500 (Lee), Facett-on (Hager & Werken), Nu-Dent Restorative Resin (Huber) zum einen gegen die drei Grundtypen aufbrennfähiger Legierungen, zum anderen gegen eine keramische Grundmasse geprüft.

Zuerst wird uns nur der Verbund zwischen Metall und Reparaturmaterial beschäftigen.

Es wurden zur Prüfung die drei Grundtypen aufbrennfähiger Legierungen herangezogen, die freundlicherweise von der Firma Bego* zur Verfügung gestellt wurden.

* Bremer Goldschlägerei Wilhelm Herbst, Emil-Sommerstr. 7
2800 Bremen 41.

Grund für dieses umfangreiche und kostspielige Vorgehen war die Überlegung, ein evtl. unterschiedliches Haftvermögen auf den verschiedenen metallischen Unterlagen festzustellen.

Zu den erwähnten Grundtypen der Gußlegierungen gehören Edelmetall-, Spar- und Nichtedelmetall-Legierungen. Die Edelmetalle waren vertreten durch die Legierung Ponto-Lloyd P mit 775 Anteilen Gold, 98 Anteilen Platin und 89 Anteilen Palladium, die Sparmetalle durch Bego-Star mit 540 Anteilen Gold und 265 Anteilen Palladium und schließlich die Nichtedelmetalle durch die Nickel-Chrom-Legierung Wiron 77.

Würfelförmige Prüfkörper aus diesen verschiedenen Legierungen wurden mit den jeweiligen Reparaturmaterialien beschichtet und nach unterschiedlich langer Lagerung in Wasser bei 37°C wurde die Haftfähigkeit dieser Systeme geprüft.

Der Meßvorgang wurde an einer mechanischen Druck- und Biegeprüfmaschine Typ 581 der Firma Frank, versehen mit einer speziellen Scher-Vorrichtung, durchgeführt.

.1.1 Herstellung der Prüfbjekte

Der von SCHMITZ und SCHULMEYER (32) entwickelte Scher-test zur Bestimmung der Haftfestigkeit metall-keramischer Verbundsysteme, bildet in einer leicht abgewandelten Form die Grundlage für diese Untersuchungsreihe.

Würfelfkörper wurden nach zahntechnisch herkömmlicher Weise jeweils aus den oben beschriebenen Legierungen hergestellt.

Hierfür wurden 5 cm lange rechteckige Wachsstäbe mit einer Kantenlänge von 6,5 mm angefertigt, mit Aurovest (Firma Bego) eingebettet und gegossen. Nach exaktem Kantenschliff dieser Metallstäbe in den Bereich von 5,7 - 6,0 mm (nach Mikrometerschraubenmaß), wurden die Stäbe mit Hilfe eines Schnellschleifers zerteilt, so daß Würfel entstanden.

Um den Prüfkörperoberflächen eine einheitliche Rauigkeit zu geben, wurde eine der Würfelflächen in einem Sandstrahlgebläse mit Bego Edelkorund Qualität A 1 (Körnung 0,25 - 0,30 mm) abgestrahlt.

Dazu ist zu bemerken, daß dies immer im gleichen Abstand von der Düse (ca. 2 cm), in der selben Zeit (5 s) und unter demselben Druck (6,5 atü) geschah.

Die so behandelten Prüflinge wiesen danach eine Rauigkeit an ihren Oberflächen von $20 \pm 3,5$ Micron auf.

Die Reinigung der Würfel war die letzte Maßnahme vor der Verwendung der Reparaturmaterialien.

Je nach Fabrikat mußte verschieden vorgegangen werden.

Den-Mat enthält ein Priming-agent zur Reinigung sowie ein Bonding-agent zur Vermittlung einer besseren Haftung in seinem Set.

Ceramat bietet sowohl einen Primer als auch einen Haftvermittler an.

Enamelite 500 empfiehlt nur einen speziellen Primer für die Behandlung von Metallunterlagen.

Die Präparate Facett-on und Nu-Dent Restorative Resin verzichten ganz auf solche vorbereitenden Maßnahmen.

Ihre Probekörper wurden lediglich mit Chloroform von eventuell vorhandenen Staub- und Schmutzresten befreit.

Entsprechend den Gebrauchsanleitungen wurde die eine vorbereitete Würfelfläche mit der zum Reparaturmaterial gehörenden Opakermasse überzogen.

Anschließend folgte unter Beachtung der Verarbeitungsanweisung das eigentliche Auftragen des Materials in der Form, daß den Würfeln ein Aufbau von ungefähr $4,2 \pm 0,15$ mm aufsaß (Abb. 6). Hierbei wurde für jede Probe gesondert angespatelt, um die Einflüsse des unterschiedlichen Anmischens zu berücksichtigen und um die Auswertung objektiver zu gestalten.

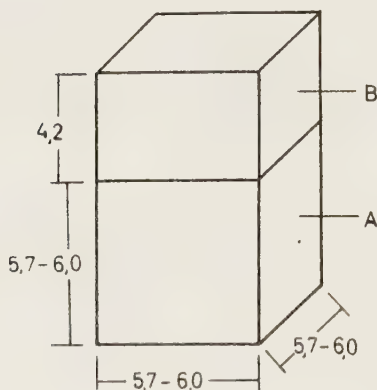


Abb. 6 Prüfkörper zur Haftfähigkeitsbestimmung
Metall (A) / Kunststoff (B)

An einer horizontal laufenden Schleifscheibe wurden nun die Übergänge zwischen Metall und Kunststoff plangeschliffen, um ein genaueres Ansetzen der Prüfvorrichtung zu ermöglichen.

Nun hatten die Proben ihre endgültige Form und konnten nach einer trockenen Aushärtelagerung von 1 Stunde zur langfristigen Lagerung in Aquadest von 37°C gelegt werden.

3.1.2 Zeitpunkte der Haftfähigkeitsuntersuchung

Die Untersuchungsreihe der Haftfähigkeit erstreckte sich über einen Zeitraum von 6 Wochen, in dem die Prüfungstermine festgelegt waren.

1. Messung	- nach	1 Tag	Naßlagerung
2. Messung	- nach	14 Tagen	Naßlagerung
3. Messung	- nach	28 Tagen	Naßlagerung
4. Messung	- nach	42 Tagen	Naßlagerung

Die Proben wurden nach ihrer Aushärtung eine Stunde bei Zimmertemperatur von $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ gelagert, um anschließend zur Naßlagerung ins Aqua dest-Wasserbad von 37°C zu gelangen.

Meßvorgang

3.1.3 Die Haftfähigkeitsprüfung selbst wurde an einer industriell hergestellten Druck- und Biegeprüfmaschine - Typ 581 der Firma Frank (Abb. 7) - durchgeführt, die freundlicherweise von der Zahnfabrik Wienand, Dreieich, für diese Untersuchung freigestellt wurde. Zusätzlich zu den Apparaturen dieser Maschine konstruierte das Haus Wienand eine Vorrichtung (Abb. 8), mit der die Prüfmethode nach SCHMITZ und SCHULMEYER (32) durchgeführt werden konnte.

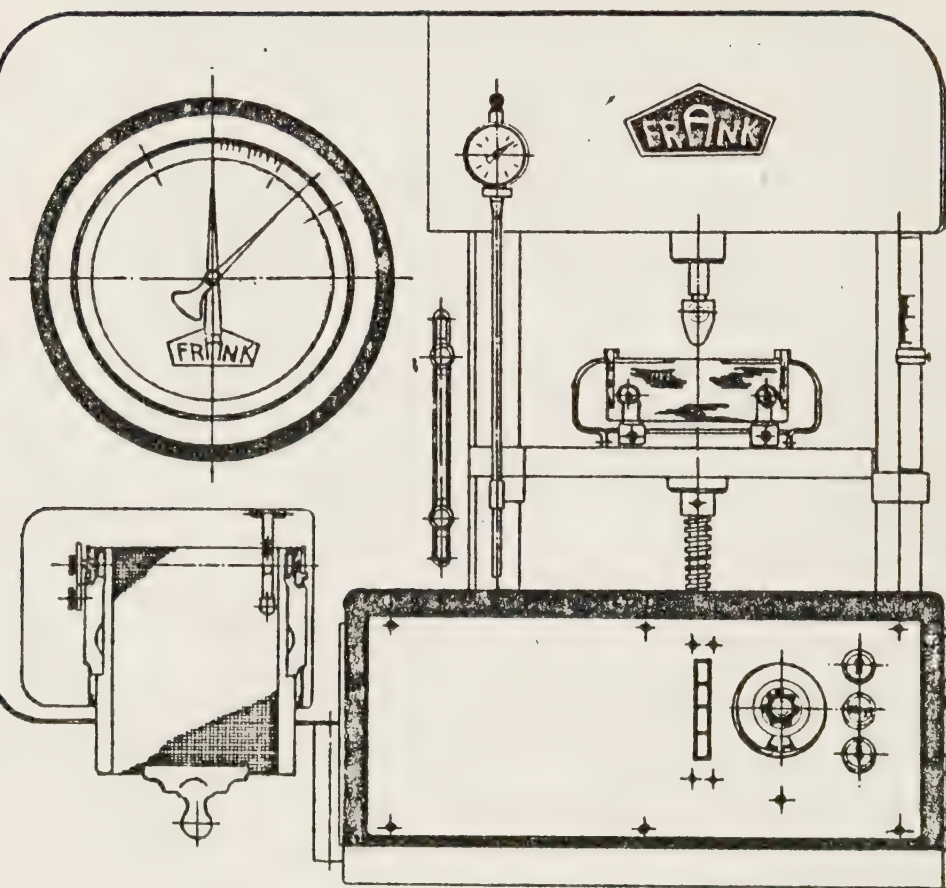


Abb. 7. Druck- und Biegeprüfmaschine der Firma Frank

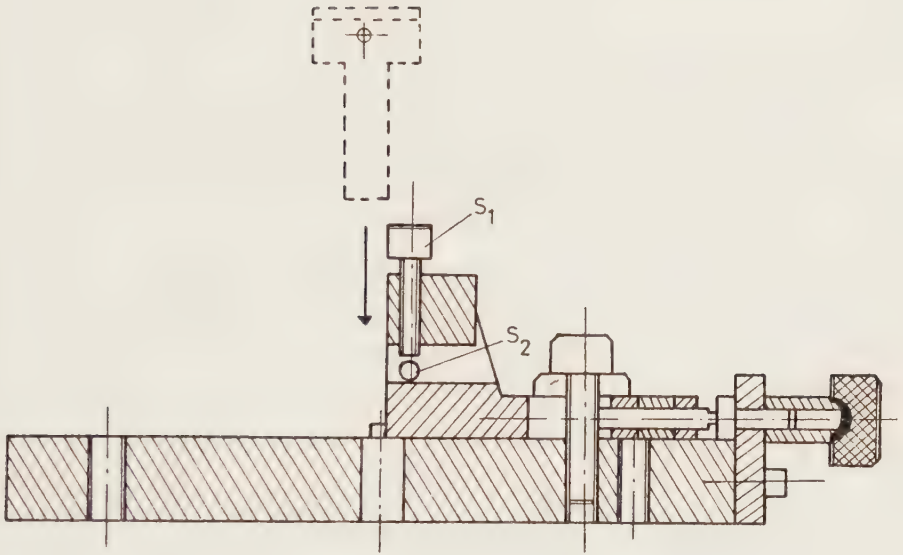


Abb. 8 Zeichnung der Einspannvorrichtung (32)
S 1 und S 2 Einspannschrauben

Nach dem Einspannen der beschichteten Würfelproben in diese Vorrichtung war darauf zu achten, daß der Laststempel immer in der gleichen Lage zur Metall-Kunststoffkante eingestellt wurde, um somit das auftretende Biegemoment konstant und möglichst klein zu halten.

Der Laststempel war mit 50 kp belegt und senkte sich gleichmäßig mit einer Geschwindigkeit von 7 mm/min. Je nach Haftfähigkeit wurde das Reparaturmaterial früher oder später von der Metallunterlage abgedrückt. Anschließend konnte mit Hilfe einer Mikrometerschraube die Haftoberfläche der Würfel ausgemessen werden. Mit diesem Wert und mit dem der aufgewendeten Kraft ließ sich nach der Re-

gel Kraft / Fläche die Scherspannung bzw. die Haftfähigkeit errechnen.

3.1.4 Ergebnisse

Jeweils 6 Würfel jeder Legierung wurden mit den einzelnen Reparaturmaterialien kombiniert. So ergaben sich pro Fabrikat bei vier Prüfterminen 72 Proben, also insgesamt bei fünf Präparaten 360 Prüflinge.

Für jede Kombination Metall / Kunststoff standen 6 Haftfähigkeitswerte zur Verfügung. Die Mittelwertbestimmung ergab einen einheitlichen Wert für die Haftung, und ferner glich diese Berechnung die beim Anmischen entstandenen leichten Unterschiede aus.

Nicht nur die Bestimmung des Mittelwertes, sondern auch die Berechnung der Standardabweichung (s_x) und der Variationskoeffizienten (VK) gehören mit in die Auswertung dieser Ergebnisse. Das Vorgehen der Berechnung ist im ersten Kapitel (Seite 20) näher erläutert worden.

Tab. 7 Haftfähigkeitsuntersuchung zwischen Metall und Reparaturmaterialien nach einem Tag Wasserlagerung

		$\bar{X} (N/mm^2)$	$s_x (N/mm^2)$	VK (%)	Min	Max	n	
Ponto-Lloyd	-	Ceramat	7,56	0,91	12,0	6,06	8,44	6
"		Den-Mat	6,08	0,65	10,8	5,07	6,73	6
"		Enamelite 500	7,13	0,61	8,6	6,05	7,88	6
"		Facett-on	2,94	0,36	12,3	2,49	3,45	6
"		Nu-Dent	5,06	0,34	6,7	4,63	5,59	6
Bego-Star	-	Ceramat	7,17	0,86	12,0	6,22	8,58	6
"		Den-Mat	5,86	0,61	10,5	4,90	6,67	6
"		Enamelite 500	6,43	0,96	14,9	5,09	7,91	6
"		Facett-on	3,14	0,50	15,8	2,65	3,94	6
"		Nu-Dent	4,84	0,56	11,7	4,38	5,85	6
Wiron 77	-	Ceramat	7,43	0,91	12,2	6,06	8,72	6
"		Den-Mat	6,04	0,82	13,6	5,02	7,22	6
"		Enamelite 500	6,21	0,58	9,4	5,41	6,84	6
"		Facett-on	3,37	0,31	9,3	2,88	3,70	6
"		Nu-Dent	6,16	1,06	17,3	4,95	7,29	6

Tab. 8 Haftfähigkeitsuntersuchung zwischen Metall und Reparaturmaterialien nach 14 Tagen Wasserlagerung

		$\bar{X} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$s_x \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	VK (%)	Min	Max	n	
Ponto-Lloyd	-	Ceramat	10,08	1,06	10,6	8,12	11,26	6
"		Den-Mat	11,00	1,31	11,9	9,55	12,64	6
"		Enamelite 500	10,87	2,18	20,1	8,36	13,55	6
"		Facett-on	4,62	0,82	17,8	3,80	5,78	6
"		Nu-Dent	4,91	1,02	20,7	3,67	6,12	6
Bego-Star	-	Ceramat	8,79	1,27	14,4	7,70	10,57	6
"		Den-Mat	9,45	1,15	12,2	7,38	10,53	6
"		Enamelite 500	9,27	0,81	8,7	8,42	10,28	6
"		Facett-on	4,19	0,50	11,9	3,48	4,45	6
"		Nu-Dent	4,74	0,62	13,2	3,89	5,49	6
Wiron 77	-	Ceramat	7,73	1,23	15,9	6,08	9,63	6
"		Den-Mat	9,08	1,19	13,1	6,85	10,15	6
"		Enamelite 500	9,09	1,36	14,9	6,39	10,29	6
"		Facett-on	3,86	0,47	12,1	3,29	4,53	6
"		Nu-Dent	6,16	0,91	14,8	5,05	7,14	6

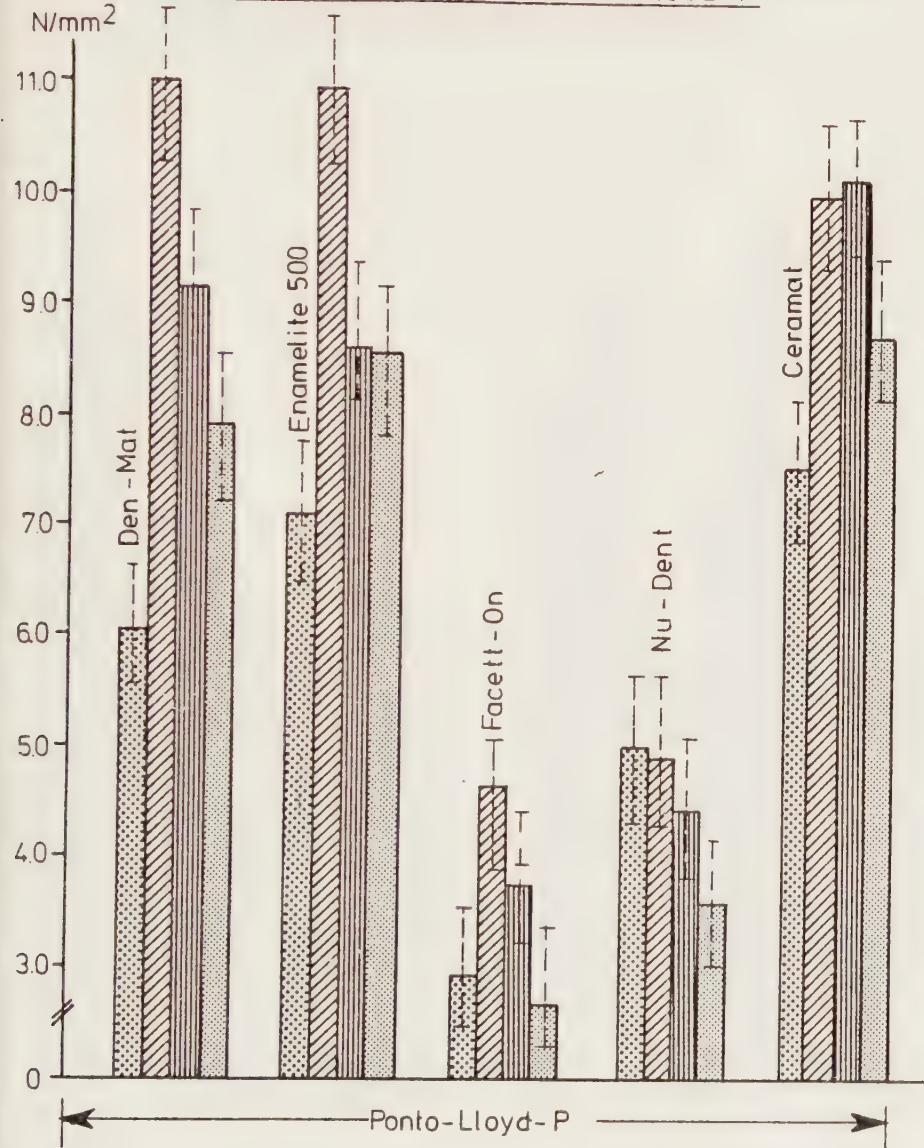
Tab. 9 Haftfähigkeitsuntersuchung zwischen Metall und Reparaturmaterialien nach
28 Tagen Wasserlagerung

		$\bar{x} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$s_x \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	VK(%)	Min	Max	n
Ponto-Lloyd	- Ceramat	10,21	1,65	16,2	8,26	12,28	6
"	Den-Mat	9,19	0,94	10,2	7,56	10,01	6
"	Enamelite 500	8,61	1,06	12,4	7,17	9,88	6
"	Facett-on	3,81	0,47	12,3	3,12	4,47	6
"	Nu-Dent	4,40	0,69	15,8	3,46	5,37	6
Bego-Star	- Ceramat	9,72	1,41	14,5	7,48	11,54	6
"	Den-Mat	8,99	1,32	14,7	7,41	10,70	6
"	Enamelite 500	8,59	1,23	14,0	6,99	10,15	6
"	Facett-on	4,16	0,38	9,1	3,75	4,83	6
"	Nu-Dent	4,20	0,55	13,2	3,61	4,90	6
Wiron 77	- Ceramat	8,56	1,50	17,5	6,82	10,73	6
"	Den-Mat	6,90	0,86	12,5	5,88	8,39	6
"	Enamelite 500	8,13	0,95	11,7	7,25	9,41	6
"	Facett-on	3,36	0,35	10,4	2,90	3,60	6
"	Nu-Dent	4,07	0,69	17,1	3,35	5,14	6

Tab. 10 Haftfähigkeitsuntersuchung zwischen Metall und Reparaturmaterialien nach
42 Tagen Wasserlagerung

		$\bar{X} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$s_x \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	VK (%)	Min	Max	n
Ponto-Lloyd	- Ceramat	8,75	1,24	14,2	6,94	10,39	6
"	Den-Mat	7,82	0,92	11,7	6,94	9,21	6
"	Enamelite 500	8,46	1,06	12,6	6,61	9,59	6
"	Facett-on	2,60	0,45	17,2	2,13	3,22	6
"	Nu-Dent	3,57	0,36	10,1	3,15	4,19	6
Bego-Star	- Ceramat	8,02	1,34	16,7	6,53	9,74	6
"	Den-Mat	7,13	1,02	14,3	5,92	8,49	6
"	Enamelite 500	8,15	1,25	15,4	6,27	10,10	6
"	Facett-on	2,81	0,35	12,5	2,20	3,30	6
"	Nu-Dent	4,02	0,53	13,4	3,20	4,90	6
Wiron 77	- Ceramat	6,34	0,71	11,2	5,21	7,18	6
"	Den-Mat	6,70	0,94	14,0	5,37	8,08	6
"	Enamelite 500	5,70	0,79	13,9	4,45	6,89	6
"	Facett-on	3,33	0,57	17,3	2,29	3,93	6
"	Nu-Dent	3,92	0,53	13,7	3,41	4,81	6

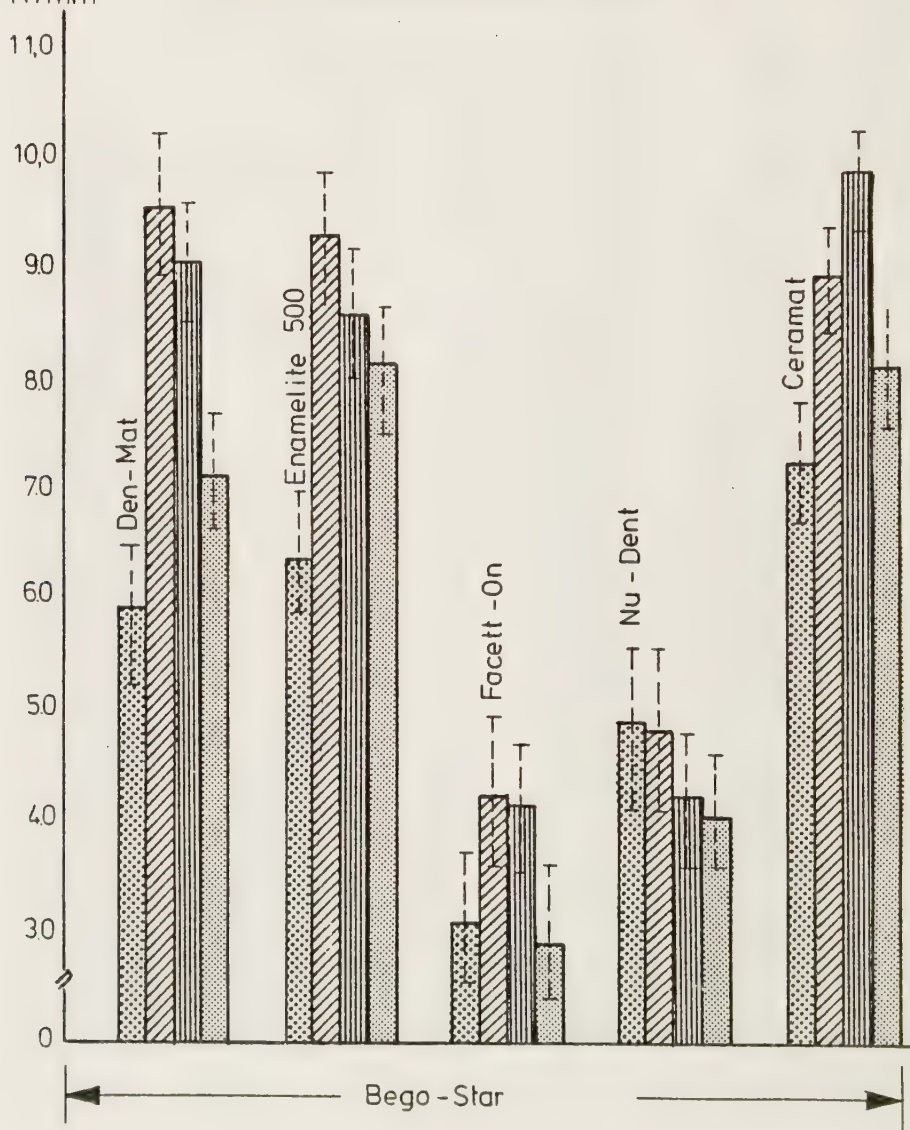
DIAGRAMM 2: HAFTFESTIGKEIT DER REPARATURMATERIALIEN
AN DER LEGIERUNG PONTO-LLOYD-P



- ⊞ nach 1 Tg. Naßlagerung
- /// nach 2 Wo. Naßlagerung
- |||| nach 4 Wo. Naßlagerung
- ⊞ nach 6 Wo. Naßlagerung

DIAGRAMM 3: HAFTFESTIGKEIT DER REPARATURMATERIALIEN
AN DER LEGIERUNG BEGO-STAR

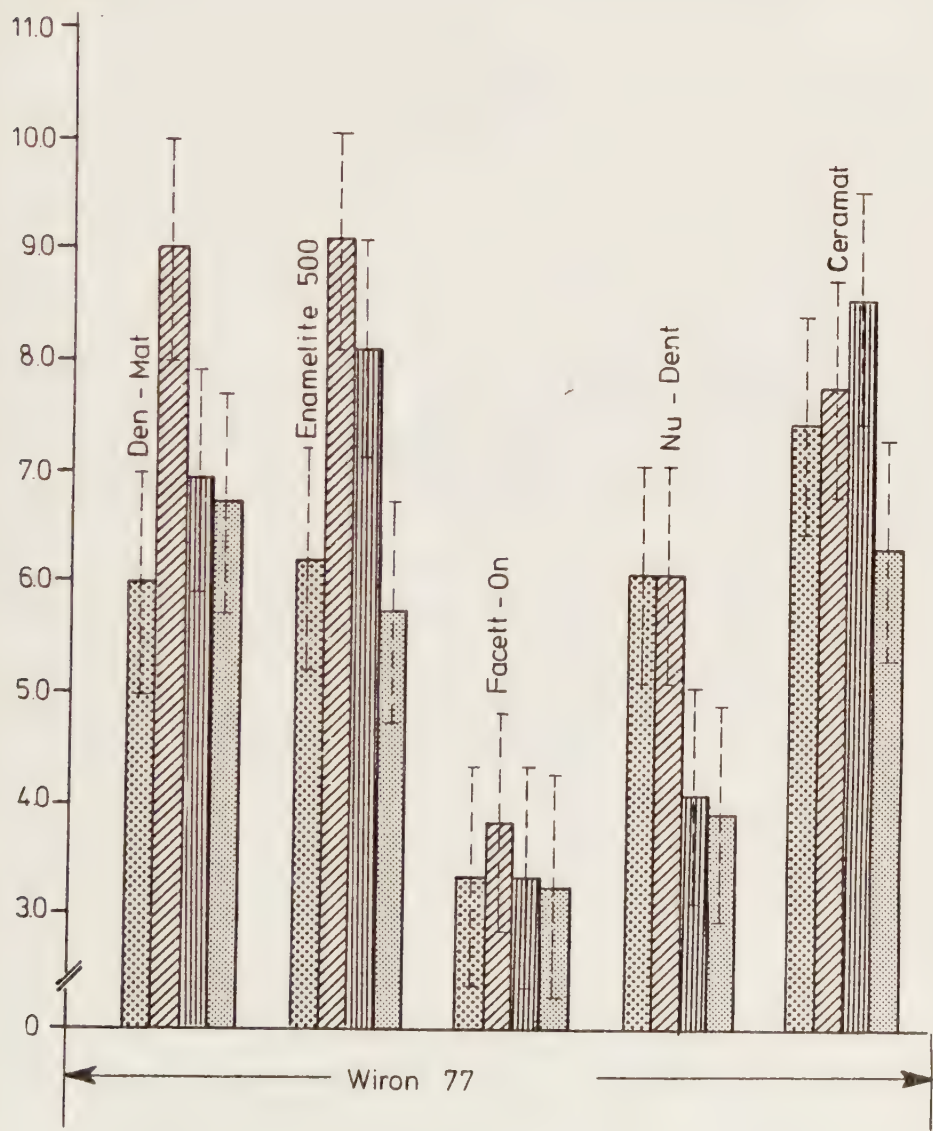
N/mm²



HAFTFESTIGKEIT DER REPARATURMATERIALIEN

AN DER LEGIERUNG WIRON 77

DIAGRAMM 4
N/mm²



3.2 Haftfähigkeitsuntersuchung der Keramik-Reparaturmaterialien gegen keramische Massen.

An den Keramik-Reparaturmaterialien Den-Mat (Renfert), Ceramat (Renfert), Enamelite 500 (Lee), Facett-on (Hager & Werken), und Nu-Dent Restorative Resin (Huber), interessiert natürlich nicht nur ihre Haftfähigkeit an einer Metallunterlage, sondern auch auf keramischen Massen. Dies in verstärktem Maße, da einige Hersteller einen verbesserten Verbund an einer zu 60% aus Keramik bestehenden Unterlage versprechen (14, 15).

Neben den aufgezählten Reparaturmaterialien wurde noch ein weiteres Präparat "Fusion" (früher Hager & Werken, heute Renfert) in die Untersuchung miteinbezogen. Hierbei handelt es sich, wie in der Beschreibung zu lesen ist (21), um ein chemisches Bindemittel, das eine homogene Verbindung, zum Beispiel zwischen dem SiO_2 der Keramik und den Kettenmolekülen des Kunststoffes herstellen soll.

Die Haftfähigkeitsuntersuchung sollte natürlich zum besseren Vergleich ebenfalls nach der Methode von SCHMITZ und SCHULMEYER (32) durchgeführt werden.

Dieses Vorhaben war jedoch mit Schwierigkeiten behaftet. Die Herstellung würfelförmiger keramischer Prüfkörper und das Einfügen ohne Bruch in die Einspannvorrichtung der Druck- und Biegemaschine erwies sich als nicht durchführbar. Deshalb wurden die im ersten Teil der Haftfähigkeitsuntersuchung verwändten Metallwürfel auf einer Seite mit keramischer Masse verblendet.

Es war nicht anzunehmen, daß die Haftfähigkeit der zu prüfenden Präparate an der Keramikverblendung den Verbund der keramischen Masse an Edelmetall mit $15 - 20 \text{ N/mm}^2$ ($160 - 200 \text{ kp/cm}^2$) oder an Nichtelegierungen mit $7 - 11 \text{ N/mm}^2$ ($70 - 110 \text{ kp/cm}^2$) übertreffen würde (39). Somit war eine Trennung der unterschiedlichen Legierungswürfel nicht erforderlich.

Die zu testenden Reparaturmaterialien wurden einmal ohne und einmal unter Verwendung des Bindemittels Fusion auf die keramische Oberfläche der Würfel aufgetragen.

Nach verschieden langer Wasserlagerung bei 37°C fand die Haftfähigkeitsprüfung ebenfalls an der Druck- und Biegeprüfmaschine der Firma Frank statt (siehe Abb. 7).

3.2.1 Herstellung der Prüfobjekte

Der Schertest nach SCHMITZ und SCHULMEYER (32), wie er im vorhergegangenen Teil dieser Arbeit ausgeführt wurde, ist auch Grundlage für die Haftfähigkeitsprüfung der Reparaturmaterialien gegen eine Keramikunterlage.

Als Prüfkörper dienten keine reinen Keramikkörper, sondern Metallwürfel mit einer aufgebrannten keramischen Testfläche.

Vorbereitende Maßnahmen zum Aufbrennen der keramischen Masse auf die Metallunterlage war das Abstrahlen der Prüflinge mit Bego Edelkorund (Körnung 0,25 - 0,3 mm).

Beim anschließenden Vorglühen der Metallkörper mußte zwischen den einzelnen Legierungstypen unterschieden werden.

Würfel der Legierungen Ponto-Lloyd und Bego-Star glühten 10 Minuten bei einer Temperatur von 980°C ohne Vakuum, während Wiron 77 - Würfel 5 Minuten der gleichen Temperatur, aber im Vakuum, ausgesetzt wurden.

Mit Hilfe spezieller Schablonen, die vom Hause Wienand gefertigt (32) wurden, konnte nach zweimaligem Auftragen und Brennen eine ungefähr 0,5 mm dicke Schicht einer BMK-U Grundmasse (De Trey) aufgebracht werden (Abb. 9 und 10).

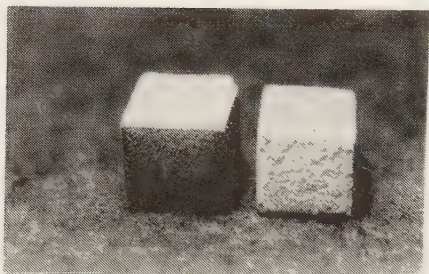


Abb. 9 Metallwürfel mit
aufgebrannter
Keramiksicht

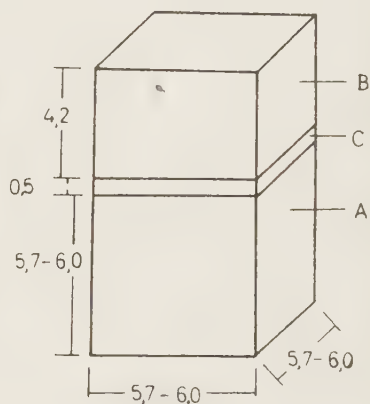


Abb. 10 Prüfkörper zur Haft-
fähigkeitsbestimmung
Material (B)/Keramik
(C)/Metall (A)

Ein Teil dieser Prüflinge wurde nun mit dem Bindemittel Fusion behandelt. Diese aus zwei Komponenten bestehende Lösung hat eine optimale Reaktionszeit - drei Stunden nach dem Anmischen - , die bei dieser Versuchsdurchführung eingehalten wurde.

Hiernach erhielten alle keramikverblendeten Würfel, unter Beachtung der einzelnen Verarbeitungsanleitungen, einen $4,2 \pm 0,15$ mm hohen Aufbau aus Reparaturmaterial. (Abb. 10). Nach dem Aushärten der Kunststoffe ebnete

man an einer Schleifscheibe die Übergänge zwischen Metall, Keramik und Kunststoff ein, um dem Abscherbolzen einen ungehinderten Ansatz zu gewährleisten. Wie schon bei den vorherigen Versuchsreihen erfolgte nach einer einstündigen Trockenlagerung die Wässerung bei 37°C in Aqua dest.

3.2.2 Zeitpunkte der Haftfähigkeitsuntersuchung

Die Untersuchungsreihe der Haftfähigkeit an einer keramischen Unterlage muß in zwei Gruppen aufgeteilt werden; die erste Gruppe, mit den Proben ohne Vorbehandlung und die zweite Gruppe mit den Fusion-präparierten Prüfkörpern.

Diese zwei Gruppen lagerten unterschiedlich lange im Wasserbad. Die mit Fusion behandelten Prüfbjekte wurden bis zu 4 Wochen, die restlichen nur 2 Wochen dem feuchten Milieu ausgesetzt.

Gruppe 1 : ohne Fusion

- a) Messung - nach 1 Tag Naßlagerung
- b) Messung - nach 14 Tagen Naßlagerung

Gruppe 2 : mit Fusion

- a) Messung - nach 1 Tag Naßlagerung
- b) Messung - nach 14 Tagen Naßlagerung
- c) Messung - nach 28 Tagen Naßlagerung

Bis zur Einführung ins Wasserbad mit 37°C lagerten die Prüfbjekte eine Stunde bei Zimmertemperatur von 22°C ± 1°C.

3.2.3 Meßvorgang (siehe 3.1.3, Seite 31)

3.2.4 Ergebnisse

Jeweils sechs mit Keramik aufgebrannte Würfel wurden mit den einzelnen Reparaturmaterialien pro Prüftermin beschichtet :

Während in der Gruppe 1 -ohne Fusion- alle fünf Präparate zur Untersuchung gelangten, blieb in Gruppe 2 -mit Fusion- Facett-on unberücksichtigt.

Die Berechnung des Mittelwertes, der Standardabweichung und des Variationskoeffizienten sowie die Auswertung der Ergebnisse erfolgten wie bei der Haftfähigkeitsuntersuchung gegen Metall.

Tab. 11 Haftfähigkeitsuntersuchung zwischen Keramik und Reparaturmaterialien nach einem Tag Wasserlagerung

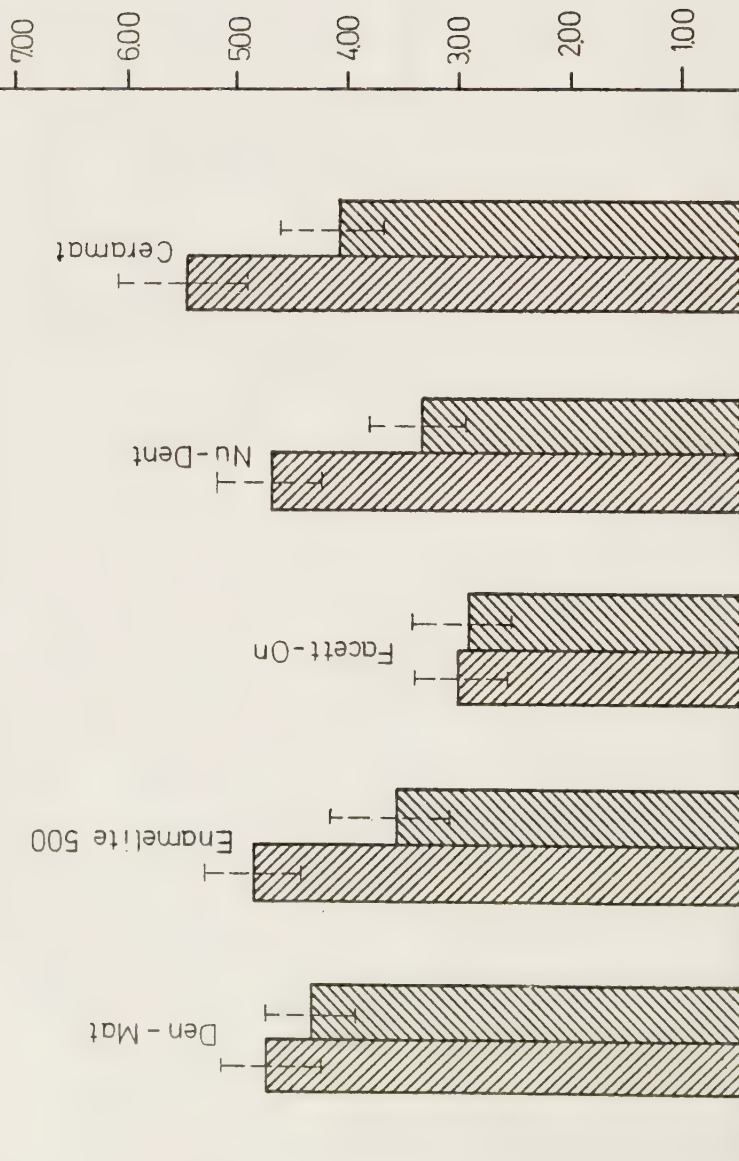
	$\bar{X}(\frac{N}{mm^2})$	$s_x(\frac{N}{mm^2})$	VK(%)	Min	Max	n
Keramik -						
"		5,45	0,76	14,0	4,49	6,46
"		4,76	0,68	14,4	3,99	5,69
"		4,80	0,72	15,1	3,88	6,09
"		3,08	0,58	19,1	2,46	3,95
"		4,60	0,80	17,4	3,48	5,44

Tab. 12 Haftfähigkeitsuntersuchung zwischen Keramik und Reparaturmaterialien nach 14 Tagen Wasserlagerung

	$\bar{X}(\frac{N}{mm^2})$	$s_x(\frac{N}{mm^2})$	VK(%)	Min	Max	n
Keramik -						
"		4,16	0,76	18,2	3,35	5,35
"		4,43	0,80	18,1	3,38	5,56
"		3,64	0,61	16,9	2,82	4,64
"		2,93	0,60	20,7	2,08	3,61
"		3,33	0,66	20,0	2,74	4,47

Haftfestigkeit Reparaturmaterial an Keramik (Gruppe 1)

N/mm²



= 1 Tag
Wasserbad 37°C



= 14 Tage
Wasserbad 37°C

DIAGRAMM 5

Tab. 13 Haftfähigkeitsuntersuchung zwischen Keramik und Reparaturmaterialien unter Verwendung des Haftvermittlers Fusion nach einem Tag Wasserlagerung

	$\bar{X}(\frac{N}{mm^2})$	$s_x(\frac{N}{mm^2})$	VK(%)	Min	Max	n
Keramik - Fusion - Ceramat	3,35	0,50	14,9	2,73	4,17	6
" " Den-Mat	8,90	2,00	22,4	6,53	11,50	6
" " Enamelite 500	6,31	1,04	16,6	5,22	7,92	6
" " Nu-Dent	6,15	0,86	14,0	4,70	7,10	6

Tab. 14 Haftfähigkeitsuntersuchung zwischen Keramik und Reparaturmaterialien unter Verwendung des Haftvermittlers Fusion nach 14 Tagen Wasserlagerung

	$\bar{X}(\frac{N}{mm^2})$	$s_x(\frac{N}{mm^2})$	VK(%)	Min	Max	n
Keramik - Fusion - Ceramat	7,09	0,92	12,9	6,16	7,59	6
" " Den-Mat	10,79	1,87	17,3	8,71	13,44	6
" " Enamelite 500	9,09	1,42	15,6	7,48	11,11	6
" " Nu-Dent	7,64	1,66	21,8	5,65	10,31	6

Tab. 15 Haftfähigkeitsuntersuchung zwischen Keramik und Reparaturmaterialien unter Verwendung des Haftvermittlers Fusion nach 28 Tagen Wasserlagerung

	$\bar{X} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$s_x \left(\frac{N}{mm^2} \right)^2$	VK (%)	Min	Max	n
Keramik-Fusion-Ceramat	4,78	0,58	12,2	4,05	5,59	6
"	8,77	1,42	16,2	6,63	10,11	6
"	5,74	1,07	18,7	4,53	7,44	6
"	4,34	0,74	17,1	3,61	5,38	6

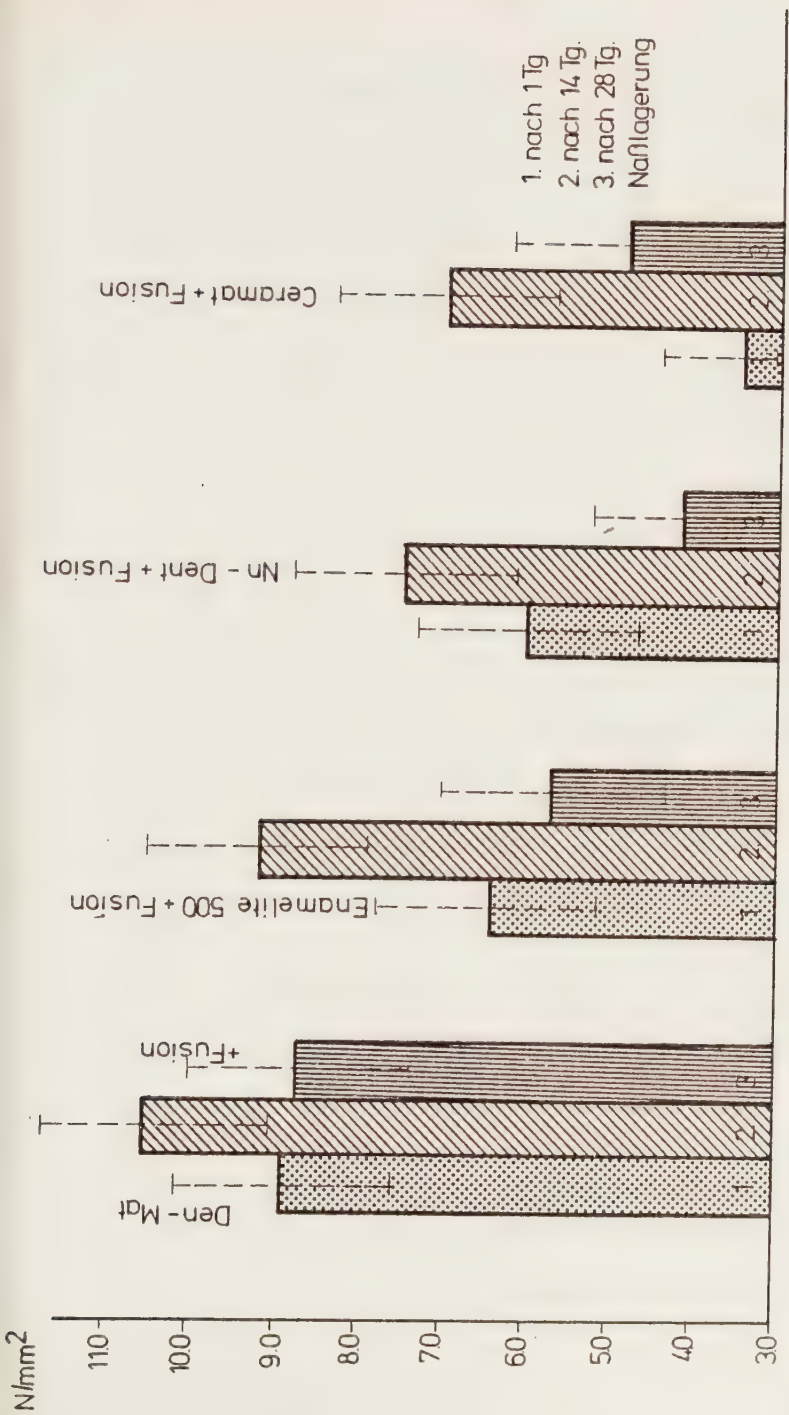


DIAGRAMM 6 HAFTFESTIGKEIT REPARATURMATERIAL AN KERAMIK (Gruppe 2)

3.2.5 Diskussion der Haftfähigkeitsuntersuchungen

Über die hier untersuchten Materialien sind bis heute noch keine Testergebnisse über Härte oder Haftfähigkeit veröffentlicht, sodaß keine Vergleiche möglich sind. Lediglich von der Firma Renfert wurden uns Ergebnisse einer Haftfähigkeitsprüfung ihres Materials Den-Mat, durchgeführt von der University of Oregon, mitgeteilt. Jedoch ist in dieser Information das angewandte Prüfverfahren nicht näher beschrieben.

Die Haftfähigkeit aller Testmaterialien nimmt nach anfänglicher Steigerung bei zunehmender Verweildauer im feuchten Milieu, unabhängig von der Beschaffenheit der Haftfläche, stetig ab.

Je nach Art der Unterlage, Keramik oder Metall, können weitere Unterschiede festgestellt werden. An abgestrahlten Metalloberflächen war der Verbund der Reparaturmaterialien bei dieser Versuchsdurchführung besser als an keramischer Grundmasse. Diese Feststellung stimmt nicht überein mit den Angaben der Firma Renfert (14, 15), in denen 60% der Haftfläche aus Keramik für einen besseren Verbund vorausgesetzt werden. Eine Haftfähigkeitssteigerung an einer keramischen Basisfläche kann jedoch durch die Verwendung des Haftvermittlers Fusion erzielt werden.

Die Ergebnisse der Haftfähigkeitsuntersuchung an den Gußlegierungen im einzelnen zeigen, daß alle Präparate ihr Haftfähigkeitsmaximum am Prüftermin nach 14 Tagen Wasserlagerung erreichen.

Eine Gruppe, zu der Den-Mat, Ceramat, Enamelite 500 gehören, weist Haftfähigkeitswerte von 8,5 - 11,0 N/mm² auf, eine andere mit Facett-on und Nu-Dent Restorative Resin hat Werte von 4,0 - 6,0 N/mm² erzielt.

Eine Haftfähigkeit, wie sie die erste Gruppe aufweist, von 8,5 - 11,0 N/mm² liegt in dem Bereich des Verbundes von keramischen Massen an Nichtedelmetall-Legierungen, dessen Werte nach neueren Angaben der Zahnfabrik Wienand zwischen 7,0 - 11,0 N/mm² schwanken (39).

Somit würde die Haftfähigkeit einiger dieser Keramikreparaturmaterialien für eine funktionstüchtige Wiederherstellung frakturierter Metallkeramikarbeiten schon ausreichen, wenn nicht schon zum nächsten Prüfungstermin nach 28 Tagen die Haftwerte aufgrund des ständigen Feuchtigkeitseinflusses absinken würden.

Ferner ist eine bevorzugte Haftfähigkeit aller Materialien an den edleren Legierungen festzustellen.

So weisen alle fünf Präparate ihre höchsten Haftfähigkeitswerte an der Pontc-Lloyd-Edelmetall-Legierung auf. An Zweiter Stelle dieser Rangordnung liegt die Spargold-Legierung Bego-Star, und die schlechteste Verbindung wird an den unedlen Wiron 77-Prüfkörpern erzielt.

An einer Haftfläche aus keramischer Masse zeigen alle Materialien gleiches Verhalten.

Die gewonnenen Haftfähigkeitswerte liegen zwischen 3,0 - 5,0 N/mm², und somit weit unter denen, die beim Abscheren von abgestrahlten Metallflächen erzielt wurden.

Bei dieser Testserie verminderten die Prüfkörper jedoch bereits nach 14 Tagen ihre Haftfähigkeit und wiesen nach dem Schertest eine glatte Bruchfläche zwischen Keramik und Kunststoff auf (Abb. 11 und 12).

Diese negative Eigenschaft kann durch die Verwendung des Haftvermittlers Fusion aufgefangen werden.

Mit diesem Präparat erreichen alle Materialien nach 14-tägiger feuchter Lagerung ihr Haftfähigkeitsmaximum, um in folgender Zeit nach und nach an Halt zu verlieren.

Der Verbund zwischen keramischer Grundmasse und Den-Mat bzw. Enamelite 500 mit Werten zwischen 9,0 - 11,0 N/mm² ist so gut, daß zum zweiten und dritten Prüftermin - nach 14 und 28 Tagen - die Keramikschicht aller Prüfkörper beim Abscheren in sich zerbrach (siehe Abb. 13 - 18).

Zum Teil löste sich sogar die keramische Masse von ihrem metallischen Partner, der bei diesen Versuchsreihen immer aus Edelmetall, Ponto-Lloyd, angefertigt war.

Somit kann kein reeller Wert der Haftfähigkeit des Kunststoffes an der Keramik angegeben werden, sondern eher ein Wert für die Zerreißfestigkeit und die Haftung der keramischen Masse.

Feststellend kann aber gesagt werden, daß in diesen Zeiträumen das Haftvermögen der Reparaturmaterialien in Verbindung mit dem Haftvermittler ebenso groß, sogar noch größer ist, als der Metall-Keramik-Verbund.

Jedoch nicht alle Präparate sprechen in diesem Ausmaß auf den Haftvermittler Fusion an.

Ceramat und Nu-Dent Restorative Resin zeigen zwar auch eine Steigerung ihres Haftvermögens. Mit maximalen Haftfähigkeitswerten von 7,0 - 7,5 N/mm² liegen diese Materialien jedoch beträchtlich hinter den Fähigkeiten der beiden Erstaufgeführten. Dies wird auch durch die Feststellung bestätigt, daß bei der Prüfung nur gelegentlich die keramische Schicht zerstört oder abgelöst wurde (Abb. 11 - 18).

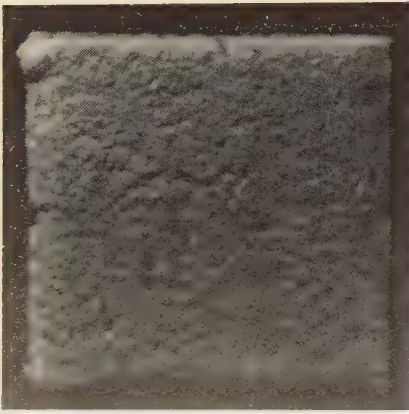


Abb.11 Keramikfläche

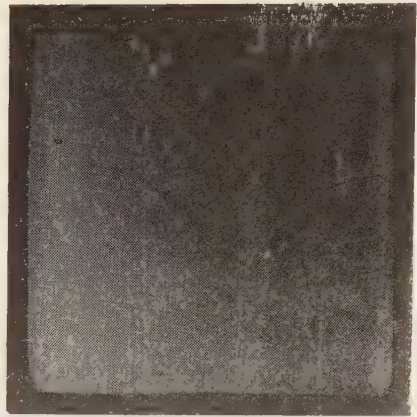


Abb.12 Kunststofffläche

Abb. 11-12 Die Haftflächen der Prüfkörper Keramik/Kunststoff.



Abb.13 Bruchfläche Metall/Keramik

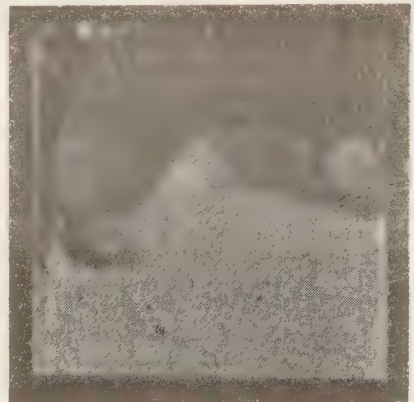
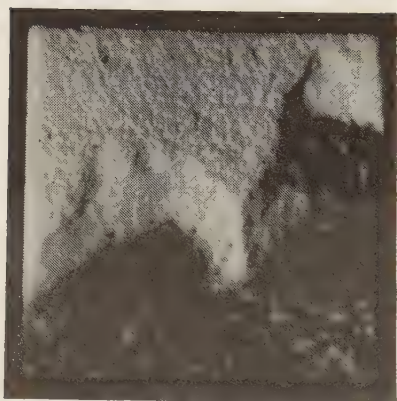


Abb.14 Bruchfläche Keramik/
Kunststoff

Abb.13-14 Die Haftflächen der Prüfkörper Keramik/Kunststoff nach der Verwendung des Haftvermittlers Fusion.



b.15 Bruchfläche Metall/Keramik

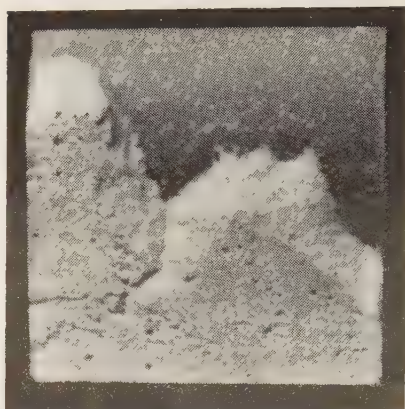
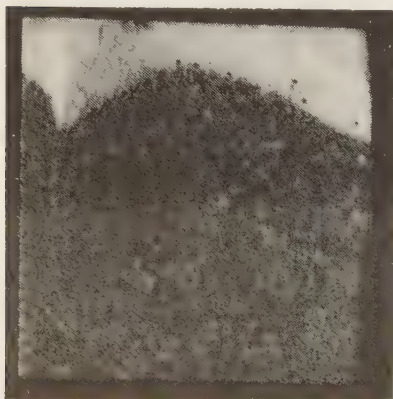


Abb.16 Bruchfläche Keramik/
Kunststoff

b. 15-16 Nach der Verwendung des Haftvermittlers Fusion



b.17 Bruchfläche Metall/Keramik

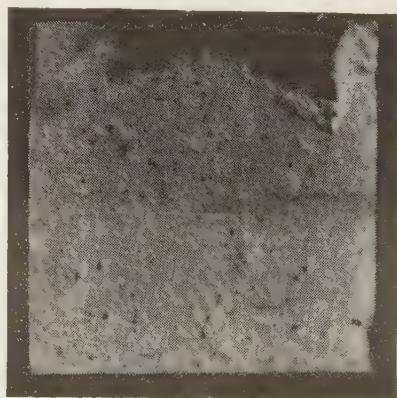


Abb.18 Bruchfläche Keramik/
Kunststoff

b. 17-18 Nach Verwendung des Haftvermittlers Fusion.

Aber auch bei der Verwendung des Haftvermittlers macht sich der negative Einfluß der Feuchtigkeit bemerkbar. Trotz der Bruchstellen in der Keramik und an der Grenzschicht Metall - Keramik nahm der Haftfähigkeitsmittelwert nach 28 Tagen gegenüber dem vorherigen Termin ab.

Auffallend bei der Auswertung waren die großen Standardabweichungen von $1,0 - 2,0 \text{ N/mm}^2$ aller durchgeführten Testserien.

Dieser große Variationskoeffizient von 15 - 20% läßt sich durch das jeweils separate Anmischen der Kunststoffe für jeden Prüfkörper erklären.

4. Haftfähigkeit von Cyanoacrylatklebern zwischen auf-
brennbaren Gußlegierungen und keramischer Massen

In vielen Zweigen der Industrie finden Klebstoffe aus Gründen der Zeit- und Materialersparnis und der Einfachheit in der Anwendung immer mehr Verwendung. Bei der Metallverarbeitung werden heute schon Arbeitsgänge wie Löten, Schweißen, Nieten oder Verschrauben von Klebern verdrängt. Natürlich halten auch diese Klebeverfahren nach und nach Einzug in die Zahntechnik und die Zahnmedizin.

In der zahnärztlichen Literatur findet man bereits Autoren, die Kleber, Cyanoacrylate, bei der Reparatur von zerstörten incorporierten Metallkeramikarbeiten anwenden.

MAREN (11) fertigt nach vorangegangener spezieller Nachpräparation der zerstörten Arbeit eine neue verblendete Überkrone an. Ähnlich, jedoch nur mit einer neuen Verblendfläche aus Metallkeramik, behilft sich ALBERS (12). Beide Autoren verwenden zur Befestigung des Ersatzes sogenannte "Sekundenkleber", Cyanoacrylat-Schnellkleber.

HOFFMANN (13) erwähnt in seiner Beschreibung über die Verwendung von Cyanoacrylaten den Gebrauch dieser Kleber zur Befestigung von Porzellan- und Kunststoffacetten in Brückenarbeiten.

Diese Cyanoacrylate sind Kunststoffe, deren Monomer aus Alkylestern besteht, und die die Fähigkeit einer schnellen Polymerisation besitzen. Aber wie auch bei anderen Kunststoffen mindert der Einfluß von Feuchtigkeit die Haftfähigkeit dieser Kleber.

Zu diesem Ergebnis kamen SCHWICKERATH und ANTAKI (41) bei einer Untersuchung von Cyanoacrylat-Gipsklebern, wobei die Zeit des Aufenthalts im feuchten Milieu einen größeren Einfluß spielte, als die Temperatur des Wassers.

SCHMEISSNERS (42) Erfahrungen mit Cyanoacrylaten spiegeln ähnliches Verhalten wieder. Seine Versuche zeigten eine deutliche Verschlechterung der Haftfestigkeit in Abhängigkeit von der Dauer des Wasserzutritts.

In einer Studie über Kunststoffkleber von SCHWINDLING und REICHERT (43) ist zu lesen, daß die Haftfestigkeitswerte bei zunehmender Lagerung in Wasser auf ein Drittel bis ein Viertel der Anfangshaftfestigkeit absinken.

Auch HOFFMANN (13) spricht von einer nicht dauerhaften Klebewirkung der heute bekannten Cyanoacrylatkleber in mundähnlichem Milieu.

Um die Tauglichkeit von Cyanoacrylatklebern beim Verbund zwischen aufbrennbaren Gußlegierungen und Keramik zu überprüfen, wurden drei handelsübliche Kleber, die sich ihrer Beschreibung nach für Metalle und auch für Porzellan eignen, auf ihre Haftfähigkeit untersucht. Aber nicht nur die reine Haftfähigkeit interessierte, auch sollte der von vielen Autoren beschriebene negative Einfluß der Feuchtigkeit auf die Haftung überprüft werden.

Hierzu wurde abermals eine Prüfung nach der Methode von SCHMITZ und SCHULMEYER (32) durchgeführt. Die bereits in den vorherigen Versuchen verwandten Metallwürfel bildeten die metallische Unterlage, auf die Keramikklötzchen unter Verwendung der zu testenden Cyanoacrylate geklebt wurden in Kombination mit den drei Legierungstypen, um eventuelle Haftunterschiede an edlen bzw. nichtedlen Metallen festzustellen.

Nach vierzehntägiger Verweildauer im Wasserbad von 37°C wurden die Proben dem Schertest an der Druck- und Biegeprüfmaschine der Firma Frank unterzogen.

4.1. Versuchsmaterialien

1. Cyanette Nr. 1739 von Renfert (Singen)
2. J.S. 12 von Loctite Limited (Irland)
3. PermaBond von Pearl Chemical (England)

In ihrem Gebrauch unterscheiden sich die verschiedenen Klebemittel nicht sonderlich, so daß eine gemeinsame Vorstellung möglich ist.

Alle Fabrikate setzen eine saubere, von Fett oder Öl gereinigte Klebestelle voraus und versprechen optimale Ergebnisse bei einseitig dünnem Auftragen des Klebstofffilms.

Über die Vorbehandlung von porösen Werkstoffen wie z.B. Keramik, Porzellan haben die Hersteller jedoch unterschiedliche Ansichten.

Während Loctite das Besprühen solcher Klebeflächen mit einem speziell entwickelten J.S. Aktivator A.C. für notwendig hält (44), empfiehlt Pearl Chemical für den PermaBond-Kleber ein kurzes Anfeuchten der entsprechenden Stellen (45).

Renfert verzichtet ganz auf diesbezügliche Angaben.

Eine korrekte Lagerung wird wiederum für alle drei Klebemittel vorausgesetzt. Maximale Lagerfähigkeit soll erreicht werden, wenn die Präparate ständig an einem kühlen und trockenen Ort aufbewahrt werden (44, 45, 46).

4.2. Herstellung der Prüfobjekte

Auch bei dieser Haftfähigkeitsprüfung nach der Methoden von SCHMITZ und SCHULMEYER (32) dienten die schon beschriebenen Metallwürfel aller drei Legierungen als Prüfkörper. An eine ihrer Oberflächen wurde mit Hilfe der zu untersuchenden Kleber ein Keramikklötzchen aufgeklebt.

Auf der Suche nach geeigneten rechteckigen Keramikkörpern half die Zahnfabrik Wienand, Dreieich. Sie stellte Formen und BMK-U Grundmasse zur Verfügung, aus denen rechteckige 4 cm lange Stäbchen mit einer quadratischen Grundfläche von 3,5 mm Kantenlänge gebrannt werden konnten. Diese recht langen Stäbchen zerteilte man in Stücke von 6 mm Länge.

Um nun ein exaktes Aufkleben auf die Würfeloberfläche zu ermöglichen, schliff man mit einer diamantierten Scheibe eine Seite dieser Keramikklötzchen plan.

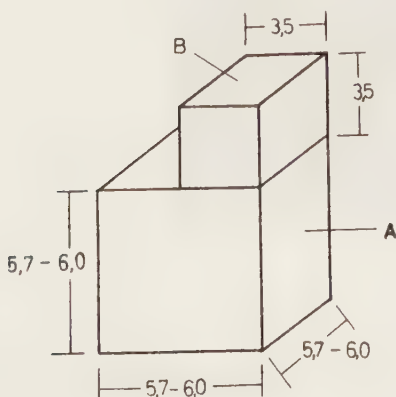


Abb. 19 Konstruktionszeichnung des Prüfkörpers
Metall (A), Keramik (B)

Die Haftfläche der Würfelproben wies nach dem Abstrahlen mit Bego-Edelkorund (Körnung 0,25 - 0,30 mm) eine Oberflächenrauigkeit von $20 \pm 3,5$ Micron auf. Da es sich bei der Keramik um einen porösen Werkstoff handelt, müssen die Prüfkörper je nach Klebemittel unterschiedlich vorbehandelt werden (siehe 4.1 Versuchsmaterialien, Seite 60). Zuvor aber wurden die Haftflächen mit Chloroform von Verunreinigungen befreit.

Im Anschluß an die vorbereitenden Maßnahmen mußte das Klebemittel dünn auf eine der Haftflächen aufgetragen und der keramische Prüfkörper zusammengesetzt werden. Sofort nach dem Aufsetzen der Keramikteile auf die Metallfläche belastete man die Proben 90 Sekunden lang mit einem Gewicht von 500 g um allen Prüflingen den gleichen Andruck zukommen zu lassen, und um überall einen gleich dicken Klebstofffilm zu erzielen.

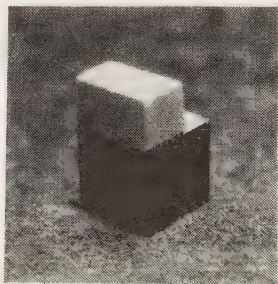


Abb. 20 Prüfkörper zur Haftfähigkeitsbestimmung der Cyanoacrylatkleber

Die Aushärtung dieser Klebemittel, auch "Sekundenkleber" genannt, dauert laut Beschreibung nur wenige Sekunden. Dennoch wurden den beklebten Metallwürfeln erst nach einer Stunde die leicht überstehenden Keramikteile sowie der Klebeüberschuß an einer Schleifscheibe entfernt. Dies ist notwendig, um durch einen exakten Abschluß zwischen Metall und Keramik ein genaues Abscheren, Ausmessen und Auswerten zu gewährleisten. Anschließend gelangten die Prüfkörper zur Lagerung im feuchten Milieu in ein 37°C warmes Wasserbad.

4.3. Zeitpunkte der Haftfähigkeitsuntersuchung

Die Testserie der Haftfähigkeitsprüfung von Cyanoacrylatklebern erstreckte sich über 14 Tage. Nach der Fertigstellung der Prüflinge lagerten diese eine Stunde bei einer Raumtemperatur von $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, ehe sie bis zu den Prüfterminen ins Wasserbad mit Aqua dest bei 37°C gelegt wurden.

1. Messung - nach 1 Tag Naßlagerung
2. Messung - nach 14 Tagen Naßlagerung

Um Anhaltswerte für die tatsächliche Haftfähigkeit der Cyanoacrylatkleber zu gewinnen, und um eine bessere Darstellung des Feuchtigkeitseinflusses machen zu können, wurde auch eine Prüfreihe aller Kleber nach 1 Tag Trockenlagerung abgeschert.

4.4. Meßvorgang

(siehe 3.1.3, Seite 31)

4.5

Ergebnisse

Von den drei Legierungen wurden jeweils 6 Würfel mit den einzelnen Klebern behaftet. Bei zwei Prüfterminen ergeben sich 108 Prüfobjekte, zusätzlich einer Testreihe der Trockenlagerung mit 18 Proben.

Im Unterschied zu den vorherigen Haftfähigkeitsuntersuchungen wurde nach dem Abscheren die kleinere Haftfläche, die Fläche des Keramikkörpers, ausgemessen. Für diese Messung wurde ein Testinstrument, Oditest der Firma H.C. Kroeplin, das auf die Genauigkeit von 0,01 mm eingestellt ist, herangezogen.

Aus den Werten der Haftflächengröße und der aufgewandten Kraft ließ sich die Haftfähigkeit der Kleber berechnen. Neben der Scherspannung wurden wiederum das arithmetrische Mittel der Einzelwerte sowie die Standardabweichung und auch der Variationskoeffizient der Meßwerte ermittelt.

Tab. 16 Haftfähigkeitsuntersuchung von Cyanoacrylat zwischen Metall und Keramik nach
1 Tag Wasserlagerung

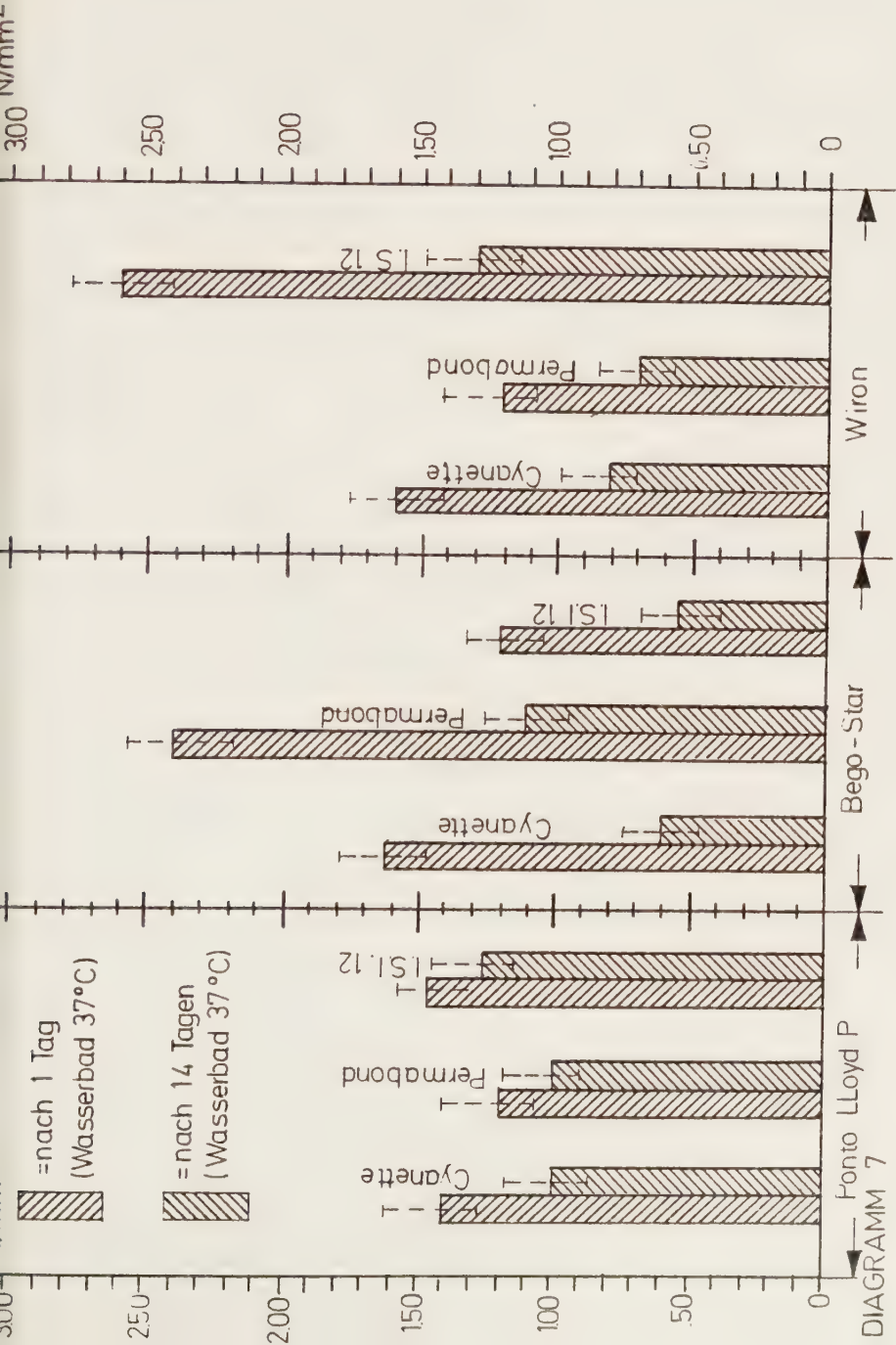
	$\bar{\Sigma} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$s_x \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	VK (%)	Min	Max	n
Ponto-Lloyd - Cyanette	1,38	0,23	17,0	1,18	1,81	6
" - Permabond	1,18	0,22	19,0	0,91	1,51	6
" - J.S. 12	1,46	0,32	22,1	0,97	1,77	6
Bego-Star - Cyanette	1,66	0,45	27,0	1,05	2,32	6
" - Permabond	2,37	0,48	20,2	1,79	3,05	6
" - J.S. 12	1,17	0,28	24,1	0,85	1,61	6
Wiron 77 - Cyanette	1,54	0,37	24,0	1,06	2,00	6
" - Permabond	1,17	0,28	24,1	0,85	1,65	6
" - J.S. 12	2,60	0,44	16,9	1,97	3,16	6

Tab. 17 Haftfähigkeitsuntersuchung von Cyanoacrylat zwischen Metall und Keramik nach 14 Tagen Wasserlagerung

	$\bar{X}(\frac{N}{mm^2})$	$s_x(\frac{N}{mm^2})$	VK(%)	Min	Max	n
Ponto-Lloyd - Cyanette	0,99	0,22	22,7	0,73	1,34	6
" - Permabond	1,07	0,26	24,5	0,64	1,39	6
" - I.S. 12	1,28	0,33	25,9	0,84	1,56	6
Bego-Star - Cyanette	0,66	0,11	17,6	0,48	0,80	6
" - Permabond	1,12	0,27	24,3	0,85	1,59	6
" - I.S. 12	0,58	0,11	20,0	0,48	0,76	6
Wiron 77 - Cyanette	0,77	0,12	16,4	0,61	0,95	6
" - Permabond	0,69	0,18	26,7	0,47	0,94	6
" - I.S. 12	1,32	0,27	20,7	1,03	1,78	6

Tab. 18 Haftfähigkeitsuntersuchung von Cyanoacrylatklebern zwischen Metall und Keramik nach 1 Tag Trockenlagerung

	$\bar{X}(\frac{N}{mm^2})$	$s_x(\frac{N}{mm^2})$	VK(%)	Min	Max	n
Wiron 77 - Cyanette	10,17	2,05	20,1	7,65	12,77	6
" - Permabond	12,84	2,58	20,1	8,88	16,18	6
" - I.S. 12	11,99	2,15	17,9	8,98	15,01	6



Haftfestigkeit Keramik an Metall mit Acrylatklebern

DIAGRAMM 7

4.6. Diskussion der Haftfähigkeit von Cyanoacrylatklebern

Die Haftfähigkeitsprüfung der drei Cyanoacrylatkleber zwischen aufbrennfähigen Gußlegierungen und einer keramischen Grundmasse ergab folgende Ergebnisse :

Alle drei Fabrikate zeigen ähnliches Verhalten und weisen auch annähernd die gleichen Haftfähigkeitswerte auf.

Nach einem Tag feuchter Lagerung erreicht Cyanette (Renfert) Werte von $1,4 - 1,6 \text{ N/mm}^2$, Permabond (Pearl Chemical) Werte von $1,2 - 2,4 \text{ N/mm}^2$ und I.S. 12 (Loctite Limited) Werte von $1,2 - 2,6 \text{ N/mm}^2$.

Schon Untersuchungen von SCHWICKERATH und ANTAKI (41), SCHMEISSNER (42), SCHWINDLING und REICHERT (43), HOFFMANN (13) hatten eine starke Beeinträchtigung der Haftfähigkeit von Cyanoacrylatklebern durch Feuchtigkeit nachgewiesen. Dieses Ergebnis kann durch die vorliegende Untersuchung bestätigt werden.

Nach 14 Tagen Wasserlagerung sinken die Haftfähigkeitswerte bei Cyanette auf Werte von $0,6 - 1,0 \text{ N/mm}^2$, bei Permabond auf Werte von $0,7 - 1,1 \text{ N/mm}^2$ und bei I.S. 12 auf Werte von $0,6 - 1,3 \text{ N/mm}^2$ ab.

Messungen gleicher Prüfobjekte nach Trockenlagerung zeigten eine fast 10-fache Steigerung der Haftfähigkeit. So trennten sich die Prüfkörper, die mit Cyanette verbunden waren erst bei einer Belastung von durchschnittlich $10,2 \text{ N/mm}^2$, solche mit Permabond bei $12,8 \text{ N/mm}^2$ und bei I.S. 12 verklebten Teilen trat eine Trennung bei einer Last von $12,0 \text{ N/mm}^2$ auf.

Eine besondere Affinität eines Klebers zu einer der Gußlegierungen ist in zwei speziellen Fällen zu beobachten.

PermaBond scheint bevorzugt an der Spargoldlegierung Bego-Star zu haften. Nach einem Tag im feuchten Milieu liegen die Haftfestigkeitswerte dieser Kombination bei $2,4 \text{ N/mm}^2$ und somit um etwa $0,8 \text{ N/mm}^2$ höher als die übrigen Verbindungen mit diesem Kleber.

Auch I.S. 12 hat scheinbar einen bevorzugten Partner - die Nichtedelmetall-Legierung Wiron 77. Hierbei liegen die Haftfähigkeitswerte um $1,0 \text{ N/mm}^2$ höher, bei $2,6 \text{ N/mm}^2$ als bei anderen mit I.S. 12 geklebten Prüfobjekten.

Auch nach 14-tägiger feuchter Lagerung zeigt sich in diesen Fällen, trotz eines beträchtlichen Absinkens der Haftfähigkeit, noch ein Unterschied zu den anderen Kombinationen.

Jedoch muß diese Beobachtung wegen der starken Standardabweichungen und des hohen Variationskoeffizienten der Meßwerte mit Vorbehalt gelten.

Die starken Schwankungen der Haftfähigkeit beim Gebrauch von Cyanoacrylatklebern sind wohl auf die unterschiedliche Schichtdicke an der Nahtstelle zurückzuführen. Nach Angaben der Hersteller soll nur ein gleichmäßiger dünner Film auf die zu klebenden Flächen aufgetragen werden, was sich praktisch kaum realisieren läßt.

Betrachtet man abschließend die Haftfähigkeitswerte der untersuchten Kleber aus zahnärztliche-zahntechnischer Sicht, so kann festgestellt werden, daß alle Präparate einen guten Verbund zwischen Metall und Keramik schaffen, solange diese Werkstoffe in trockener Umgebung aufbewahrt werden.

Im feuchten Milieu dagegen wird die Klebwirkung so stark beeinflusst, daß resultierend eine Anwendung von Cyanoacrylaten im Munde keine dauerhaften Erfolge gewährleisten kann.

5. Zusammenfassung

Es werden zwei Möglichkeiten der Reparatur zerstörter Metall-Keramik-Arbeiten aus werkstoffkundlicher Sicht geprüft.

Zum einen wurden Keramik-Reparaturmaterialien auf Härte und Haftfähigkeit unter Einfluß von Feuchtigkeit, zum anderen wurden herkömmliche Cyanoacrylat-Kleber auf ihre Haftfähigkeit ebenfalls nach feuchter Lagerung untersucht.

Die über 12 Wochen laufende Härteprüfung ergab einen Härteverlust aller sechs untersuchten Präparate mit zunehmender Verweildauer in Aqua dest. Dabei erwiesen sich Den-Mat und Enamelite 500 als die härtesten Materialien. In einem beträchtlichen Abstand folgten Ceramat und als Vergleichsmaterial das Composite Nimeticap. Weit abgeschlagen in dieser Einteilung mit einer geringen Härte befinden sich Facett-on und Nu-Dent Restorative Resin.

Die Ergebnisse der Haftfähigkeitsuntersuchung verdeutlichen ebenfalls eine starke negative Beeinflussung durch Feuchtigkeit.

In allen Versuchsreihen verringerte sich die Haftung mit länger werdendem Aufenthalt im feuchten Milieu. Bei den 6-wöchigen Haftfähigkeitsversuchen dieser Reparaturmassen an aufbrennfähigen Gußlegierungen erzielten in der folgenden Reihenfolge Den-Mat, Enamelite 500 und Ceramat die höchsten Werte. Nu-Dent Restorative Resin und das Facett-on erreichten nur halb so große Haftwerte.

Als Nebenfund wurde eine bevorzugte Haftung an Edelmetall-Legierungen festgestellt.

Die Untersuchung des Verbundes mit keramischen Massen brachte einheitlich geringe Haftfähigkeitswerte aller Fabrikate.

Eine bedeutende Verbesserung der Haftung an einen solchen Untergrund konnte mit dem Haftvermittler Fusion erzielt werden.

Den-Mat und Enamelite 500 hafteten dann so gut, daß beim Schertest die keramische Haftfläche zerbrach. Nu-Dent Restorative Resin und Ceramat konnten diese Resultate nicht erbringen.

Nach diesen werkstoffkundlichen Laboruntersuchungen ist eine Anwendung dieser Materialien in der Praxis nur bedingt, zum Teil garnicht zu empfehlen. Den-Mat, Enamelite 500 und mit Abstrichen Ceramat weisen sowohl relativ hohe Härte- als auch gute Haftfähigkeitswerte auf. Da diese Qualitäten jedoch mit zunehmendem Einfluß von Feuchtigkeit nachlassen, ist die Verwendung dieser Kleber nur als zeitlich begrenzte Reparaturmöglichkeit anzusehen. Eine dauerhafte befriedigende Lösung ist mit diesen Materialien auf Grund ihrer Anfälligkeit gegen Feuchtigkeit nicht zu erreichen.

Die beiden übrigen Materialien sind nach den Ergebnissen dieser Untersuchung für eine Verwendung im Munde nicht geeignet.

Weiterhin wurde die Haftfähigkeit von drei Cyanoacrylatklebern im feuchten Milieu untersucht. Hierbei konnten frühere Untersuchungsergebnisse bestätigt werden. Der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Klebekraft aller untersuchten Präparate ist so groß, daß bereits nach eintägigem Aufenthalt in Aqua dest die Haftfähigkeit gegenüber der trockenen Lagerung um den Faktor 10 vermindert wurde.

Somit verspricht die Verwendung solcher Kleber zur Wiederherstellung zerstörter Keramikarbeiten im Munde keinen andauernden Erfolg.

5.1 Literaturverzeichnis

1. EICHNER, K. Bindung von keramischen Massen auf Edelmetall-Legierungen. dental-labor XXV, 16-1648 (1977)
2. EICHNER, K. Derzeitiger Stand der Metallkeramik aus werkstoffkundlicher Sicht (unter Berücksichtigung der Edelmetall- und nichtedelmetall-Legierungen). Zahnärztl.Mitt. 67, 1181-1183 (1977)
3. KERSCHBAUM, TH. Metallkeramische Verblendkronen nach mehrjähriger klinischer Bewährung. Zahnärztl.Mitt. 20, 1195-1199, (1977)
4. ALBERS, J.H. Erfahrungen mit den edelmetallfreien Porzellan-Aufbränn-Legierungen Wiron und Wiron S (I). Quintess.zahnärztl.Lit. 28, 57-64 (1977) Ref.Nr. 5557
5. KOLLER, W. Erfahrungen bei der Verwendung metallkeramischer Verblendung auf Nichtedelmetallgerüsten. Quintess.zahnärztl.Lit. 29, 73 (1977) Ref.Nr. 5758
6. KERSCHBAUM, TH. Guß- und metallkeramische Verblend-
 VOSS, R. krone im Vergleich - Ergebnisse einer Nachuntersuchung bei Teilprothesenträgern. Dtsch.zahnärztl.Z. 32, 200-206 (1977)
7. WEBER, K. Häufige Fehler in der Metallkeramik. dental-labor XXIV, 332-337 (1976)
8. VOSS, R. Präparation der Pfeilerzähne, Kronen- und Zwischenglied-Form für die Metallkeramik. Zahnärztl.Mitt. 67, 1189-1194 (1977)
9. MARX, H. Persönliche Mitteilung 1978

10. BAKLAND, L.K. Eine Möglichkeit, Porzellan-Verblendungen im Munde zu erneuern. Quintess.zahnärztl.Lit. 23, 47-51 (1972) Ref.Nr. 4588
11. MAREN, E. Metallkeramik Quintess.zahnärztl.Lit. 20, 65-72 (1969) Ref.Nr. 3768
12. ALBERS, J.H. Erfahrungen mit den edelmetallfreien Porzellan-Aufbrenn-Legierung Wiron und Wiron S (II). Quintess.zahnärztl.Lit. 28, 55-63 (1977) Ref.Nr. 5557
13. HOFFMANN, K. Die Verwendung von Cyanoacrylatklebern in der Zahntechnik. Quintess.zahnärztl.Lit. 22, 96 (1971), Ref.Nr. 4344
14. RENFERT, E. & H. Verarbeitungsanleitung für Den-Mat Nr. 5882, Keramik-Reparatur-Set. D-7700 Singen, Postfach 724
15. RENFERT, E. & H. Gebrauchsinformation für Ceramat Nr. 5872, Keramik-Reparatur-Set D-7700 Singen, Postfach 724
16. RENFERT E. & H. Persönliche Mitteilung von Herrn Jendro 1978. D-7700 Singen, Postfach 724
17. LEE PHARMACEUTICALS GmbH Gebrauchsanweisung für Enamelite 500. Zahnschmelzüberzug und Reparaturmaterial für Kunststoff und Keramikverblendungen. D-6000 Frankfurt/M. 56, Max-Planck-Straße 2
18. HAGER & WERKEN GmbH & Co., KG Arbeitsanweisung für Facett-on. Material für Facettenaufbau und Reparaturen frakturierter Porzellankronen. D-4100 Duisburg, Postfach 100687

19. DETAX, K. HUBER
K.G. Gebrauchsanleitung für Nu-Dent
Restorative Resin
D-7500 Karlsruhe, Th.-Rehbockstr.
3 - 5
20. ESPE GmbH Gebrauchsanleitung für Espe-
Applic-System Nimeticap.
D-8031 Seefeld /Obb.
21. RENFERT, E. & H. Gebrauchsanleitung für Fusion-Set
Nr. 1927
D- 7700 Singen, Postfach 724
22. MARX, H. Über die Härteuntersuchungen
zahnärztlicher Kunststoffe.
Stoma 17, 234-246 (1969)
23. HOUWINK, R.
STAVERMAN, A.J. Chemie und Technologie der
Kunststoffe III.
4. Auflage, 34
Akademische Verlagsgesellschaft
Geest und Portung KG, Leipzig
1963
24. KUNZE, W. Eindruckhärte-Untersuchungen an
~~Kunststoffen~~.
Kunststoff 30, 323-336 (1940)
25. GOHL, W. Zur Messung der Härte von Kunst-
stoffen.
Kunststoff 46, 139-143 (1956)
26. MÜLLER, K. Anwendung einer neuentwickel-
ten Kleinlast-Härtemeßmethode
auf der Basis des Vickers-Ver-
fahren.
Kunststoff 60, 265-273 (1970)
27. GÜTTFERT GmbH Betriebsanleitung Optidur.
D-6967 Buchen/Odw.Siemensstr. 2
28. REMEK, P. Vergleichende Härteuntersuchungen
von Kunststoffen für Kronen - und
Brückenverblendungen mit Hilfe
einer optischen Methode.
Med.Diss. Mainz 1975

29. RITZE, H. Quellung und Kunststoffe.
Dtsch.zahnärztl.Z. 20, 1245 -
1479 (1965)
30. KÜB, H. Zum besseren Verständnis sta-
tistischer Spielregeln.
Melliand Textilberichte 5,
488 (1974)
31. SCHWICKERATH, H. Über die Haftung von Plasten.
Zahnärztl.Welt 62, 207-209
(1961)
32. SCHMITZ, Kh.
SCHULMEYER, H. Bestimmung der Haftfestigkeit
dentaler metallkeramischer Ver-
bundsysteme.
dental-labor XXIII, 1416-1420
(1975)
33. RITZE, H.
GAYCKEN, H.K. Untersuchungen aufbrennbarer
keramischer Massen auf der
Chrom-Kobalt-Legierung Wiron.
dental-labor XXV, 1451-1456
(1977)
34. JANKE, G. Über die fugendichte Bindung
von Kunststoff an Metall.
Zahnärztl.Welt 7, 509-512
(1952)
35. SCHWICKERATH, H. Die Haftung der Deckstoffe.
Dtsch.zahnärztl.Z. 18, 77-81
(1963)
36. SCHWICKERATH, H. Untersuchungen der Verblend-
kunststoffen und deren Haftung.
Dtsch.zahnärztl.W. 24, 858-860
(1969)
37. SCHWICKERATH, H. Die Haftung der Kunststofffüll-
materialien an Dentin.
Dtsch.zahnärztl.Z. 23, 205-208
(1968)
38. SCHWICKERATH, H. Deckstoff und Haftvermittler.
Quintess.zahntechn.Lit. 1,
53 - 57 (1975)

Für die Überlassung des Themas und das erste Gutachten möchte ich Herrn Professor Dr. H. Marx meinen ganz besonderen Dank aussprechen, ebenso für die wertvollen Ratschläge und das mir jederzeit entgegengebrachte Verständnis.

Herrn Professor Dr. K. Fuhr danke ich für die freundliche Übernahme des zweiten Gutachtens.

Ebenfalls zu Dank verpflichtet bin ich Herrn Direktor Weiss der Firma Bego, Herrn Dr. Schmitz und Herrn H. Schulmeyer der Zahnfabrik Wienand sowie den Firmen Renfert und Lee Pharmaceuticals für die Bereitstellung von Material und Geräten.

Für hilfsreiche Unterstützung und Anregung bedanke ich mich weiterhin bei Herrn Dipl.-Physiker R. Lippold vom Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation, bei Herrn U. Kohlhaas und bei Herrn T. Senge.

Lebenslauf

Am 2. Juni 1951 wurde ich als Sohn und zweites Kind des Textilkaufmannes Ernst Houcken und seiner Ehefrau Elisabeth geb. Gotzes in Krefeld geboren.

Vom Ostertermin 1957 besuchte ich die dortige katholische Franziskus-Volkschule. Nach fünf Schuljahren wechselte ich auf das neusprachliche Gymnasium am Moltkeplatz, wo ich am 13. Juni 1970 mein Abitur bestand. Im August des selben Jahres begann ich eine Ausbildung als Zahntechniker im zahntechnischen Labor Gerd Cleve in Hüls bei Krefeld. Nach zweieinhalb Jahren Ausbildungszeit legte ich im Januar 1973 mit Erfolg meine Gesellenprüfung ab und arbeitete bis zur Aufnahme des Studiums der Physik an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz als Zahntechniker. Zum Wintersemester 1975/76 wurde mir ein Studienplatz im Fach Zahnmedizin zugesprochen. Bereits im September 1975 bestand ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung für Zahnmediziner. Nach dem Wintersemester 1976/77 konnte ich die zahnärztliche Vorprüfung erfolgreich absolvieren. Zum Prüfungstermin im Sommer 1979 beabsichtige ich zur zahnärztlichen Prüfung anzutreten.

Druck: Reinartz

Copier- und Offset-Center

Gaustraße 16, Telefon 0 61 31/9 38 70 + Kirschgarten 3, Telefon 0 61 31/9 62 02
6500 Mainz

